

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
НЕФТЕГАЗОВЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2019

УДК 658.512.2.011.56:681.3(075.8)

ББК 32.965я73

Г87

Г87

Громаков Е.И.

Проектирование автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами: учебное пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 408 с.

В учебном пособии приведены учебно-методические материалы для изучения особенностей автоматизации нефтегазовых объектов управления, а также указания по выполнению курсового проекта. Рассмотрены основные понятия, структура, классификация и методология разработки автоматизированных систем управления с использованием SCADA информационных технологий (автоматизированных систем управления), приведены примеры решений для курсовых проектов.

Пособие подготовлено на кафедре интегрированных компьютерных систем управления и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», профиль подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)».

УДК 658.512.2.011.56:681.3(075.8)

ББК 32.965я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор ТПУ

В.И. Гончаров

Доктор технических наук, профессор

В.И. Сырямкин

© ФГАОУВО НИ ТПУ, 2019

© Громаков Е.И., Лиепиньш А.В., 2019

© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛОССАРИЙ	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	11
1.1. Цели и задачи проектирования автоматизированных систем нефтегазовых производств	11
1.2. Структура расчетно-пояснительной записки.....	15
2. ПРОГРАММНОЕ, ИНФОРМАЦИОННОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АС	23
2.1. Объекты автоматизации в нефтегазовой отрасли. Порядок описания функциональной схемы технологического процесса.....	23
2.2. Выбор архитектуры и профиля АС.....	36
2.3. Выбор программного обеспечения АС.....	43
2.4. Выбор структурной схемы АС	50
2.5. Разработка схемы автоматизации	56
2.6. Разработка схемы информационных потоков АС	70
2.7. Алгоритмическое обеспечение АС. Автоматизированное управление	84
2.8. Алгоритмическое обеспечение АС. Автоматическое регулирование.....	96
3. ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ АС	142
3.1. Выбор контроллерного оборудования.....	143
3.2. Выбор датчиков	179
3.3. Нормирование погрешности канала измерения	202
3.4. Выбор исполнительных механизмов	210
3.5. Управление регулирующим органом РО	241
3.6. Выбор и описание алгоритмов управления для АС.....	255
3.7. Управление сбором данных.....	261
3.8. Автоматическое регулирование параметра технологического процесса	263
3.9. Системы сигнализации АС	278
4. РАЗРАБОТКА СХЕМНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	289
4.1. Разработка принципиальной схемы автоматизации	289
4.2. Разработка схемы соединения внешних проводов.....	303
4.3. Разработка электрических схем питания АС	314
4.4. Разработка раздела закладных КИПиА	331
4.5. Разработка шкафов, схем соединений и расположения АС	336

5. РАЗРАБОТКА ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СТАНЦИИ.....	345
5.1. Выбор человеко-машинного интерфейса АС	345
5.2. Разработка экранных форм АС	353
5.3. Выбор SCADA АС.....	359
6. КОМПЛЕКСНАЯ НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	362
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	380
ЛИТЕРАТУРА	384
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	386
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	387
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	389
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	390
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	391
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	392
ПРИЛОЖЕНИЕ 7.....	393
ПРИЛОЖЕНИЕ 8.....	394
ПРИЛОЖЕНИЕ 9.....	395
ПРИЛОЖЕНИЕ 10.....	396
ПРИЛОЖЕНИЕ 11.....	397
ПРИЛОЖЕНИЕ 12.....	398
ПРИЛОЖЕНИЕ 13.....	399
ПРИЛОЖЕНИЕ 14.....	400
ПРИЛОЖЕНИЕ 15.....	401
ПРИЛОЖЕНИЕ 16.....	402
ПРИЛОЖЕНИЕ 17.....	403

ПРИЛОЖЕНИЕ 18.....	404
ПРИЛОЖЕНИЕ 19.....	405
ПРИЛОЖЕНИЕ 20.....	406
ПРИЛОЖЕНИЕ 21.....	407

ГЛОССАРИЙ

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 подмножество и/или комбинации базовых стандартов информационных технологий, необходимые для реализации требуемых наборов функций АС. 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 (*OSI, ProfiBus, Modbus, HART, Profibus DP, Modbus RTU, Modbus + 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 конструируется 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 шестизначной классификационной характеристикой ОКП этот код означает проектирование распределенного автоматизированного управления технологическим объектом).

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

OSI (*Open Systems Interconnection*) – эталонная модель взаимодействия открытых информационных систем.

PLC (*Programmable Logic Controllers*) – программируемые логические контроллеры (ПЛК).

ОУ – объект управления.

КП – курсовой проект, курсовое проектирование.

БД – база данных.

ПО – программное обеспечение.

УСО – устройство сопряжения (связи) с объектом, устройство ввода/вывода.

ВВЕДЕНИЕ

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 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 измерительных устройств и исполнительных механизмов на основе микропроцессорной электроники, программируемых логических контроллеров автоматического управления и программируемых коммуникационных средств удаленной связи;
- использованием «коробочных, готовых для применения» программных средств управления, средств сбора информационных данных и формированием на их основе автоматических и автоматизированных управляющих воздействий;
- построением систем автоматизации с учетом требований технологической, пожарной и взрывобезопасности;
- специальными технологическими требованиями к условиям эксплуатации, монтажу трубных и электрических проводок, усложняющими схемы и чертежи дополнительными конструкциями.

В процессе изучения дисциплины «Проектирование автоматизированных систем» и последующего выполнения курсового проекта (КП) [1] студент должен на основе анализа работы технологического процесса нефтегазовой отрасли уметь устанавливать объем его автоматизации, определять архитектуру и структуру автоматизированного управления и разрабатывать инженерную документацию основных разделов проекта. При этом студент должен опираться как на знания, полученные в ходе изучения учебного курса «Проектирование автоматизированных систем», так и уметь использовать литературные и интернет-источники.

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

с локальными системами контроля и управления, которые имеют значительную стоимость. Поэтому выбор средств автоматизации должен быть нацелен на использование отечественных разработок.

Основными показателями, определяющими экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и систем автоматизации, являются:

- годовой экономический эффект, связанный с обеспечением бесперебойной работы технологических установок и процессов в целом;
- прирост прибыли предприятия, связанной со строгим выполнением плановых заданий и обеспечением установленного нормативными документами качества нефтегазовой продукции.

Целью автоматизации технологических и производственных процессов в нефтегазовой отрасли является более полное использование потенциальных возможностей, заложенных в автоматизированных технологиях управления, позволяющих осуществлять:

- более полное извлечение нефти и газа из продуктивных пластов и доставка их потребителю с установленными технико-экономическими показателями;
- повышение производительности нефтегазового оборудования;
- сокращение обслуживающего персонала;
- сокращение потерь всех видов ресурсов;
- улучшение качества подготовки нефти, газа, воды;
- транспортирование нефти и газа без потерь;
- производство нефтегазовой продукции с высокой экономической эффективностью.

Задача данного пособия – систематизация и углубление теоретических и практических знаний, развитие навыков их практического применения при решении инженерных задач автоматизированного управления технологическим процессом нефтегазовых производств.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

1.1. Цели и задачи проектирования автоматизированных систем нефтегазовых производств

Основными учебными целями при проектировании автоматизации нефтегазовых производств являются:

- *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;
- *получение компетенций*:
 - осуществлять, анализ, 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;
 - применять современный инструментарий проектирования;
 - разрабатывать проектную документацию.

Различают следующие варианты проектирования АС [2]:

- 1) для управления технологическим процессом, в котором действующая АС технически перевооружается;
- 2) для непрерывного улучшения управления действующим (нереконструируемым) технологическим процессом управления;
- 3) для управления технологическим процессом, который реконструируется или расширяется;
- 4) для управления вновь строящимся, проектируемым технологическим процессом;
- 5) для интегрированного управления технологическим процессом и производством.

Варианты создания АС влияют на выбор комплекса программно-технических средств.

Вариант 1 характеризуется тем, что проводится программно-техническое перевооружение уже существующей и действующей АС. В этом варианте в ТЗ на реконструкцию (расширение) АС должны быть четко определены направления и виды переоснащения и дооснащения действующей системы иными или подобными имеющимися на объекте программно-техническими средствами. В проекте должны быть приведены соответствующие решения, обеспечивающие инновацию АС.

Вариант 2 характеризуется разработкой концептуального проекта автоматизации технологического объекта или группы объектов для действующего и нереконструируемого технологического процесса. Этот вариант АС требует увеличенного внимания к решению вопросов:

- расположения пунктов управления и аппаратных в существующей архитектурной среде предприятия;
- установки первичных измерительных преобразователей на существующем и действующем без остановки технологическом оборудовании, и коммуникациях;
- прокладки кабельных и трубных проводок АС в существующей структуре технологических, электротехнических и прочих коммуникаций;
- переобучение оперативного, диспетчерского, эксплуатационного и управленческого персонала предприятия к работе в новых условиях деятельности после внедрения АС.

Вариант 3 отличается от варианта 2 тем, что действующий объект управления реконструируется или расширяется и одновременно с этим на объекте создается АС. В зависимости от объема реконструкции или расширения объекта вновь создаваемая АС требует решения вопросов, отмеченных вариантом 2. Чем меньше объем реконструкции или расширения, тем меньше дополнительные трудозатраты на создание АС, которые учитывают действующие технологические и другие коммуникации и оборудование, переоборудование существующих помещений под помещения АС. Выбор программно-технических средств следует организовать подобно их выбору в варианте 2.

Вариант 4 предполагает относительную свободу выбора программно-технических средств АС. Выбор ограничивается корпоративными требованиями заказчика к программно-техническим средствам АС или требованиями технического задания на создание АС.

Вариант 5 предполагает проектирование автоматизированных и автоматических средств комплексного управления производством с целью получения синергетического прироста эффективности АС, связанного с системной организацией управления сквозными процессами

технологии и производства от полевого уровня до уровня принятия решений при выполнении, в частности, планов цехового производства.

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

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, ГОСТ 2.103-2013 предусматриваются следующие стадии разработки конструкторской документации:

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 автоматики, электрического и противопожарного проектирования. На стадии «рабочие чертежи» технико-рабочий проект включает следующую техническую документацию:

- структурные и функциональные схемы АС;
- 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 проектирования автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами для студентов являются разработка технического задания и эскизного проекта автоматизированной системы. В последнее время этот этап связывают с концептуальным проектированием АС.

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

В процессе выполнения проекта 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 поставщиков программно-технических средств АС;
- при разработке экранных форм – ПО *SCADA* и ПО редактора векторной графики;
- при разработке модельной настройки системы автоматического регулирования – ПО инструментальных средств моделирования АС;
- при разработке графической документации – ПО САПР.

Курсовое проектирование открывает широкие возможности в проявлении студентами своих творческих способностей и инженерной инициативы. При выполнении проекта 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 направлению (профилю) образовательной программы и может стать его составной частью.

Рекомендуется курсовой проект выполнять в виде двух рабочих документов: пояснительной записки (ПЗ) и альбома схем, графической части, оформленной в бумажном и электронном виде на электронном носителе информации.

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.

1.2. Структура расчетно-пояснительной записки

Рекомендуемый объем пояснительной записки составляет 35–45 страниц печатного текста. Записка оформляется в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 24.301 и ГОСТ 2.105-95. Она должна включать обоснования по принимаемым решениям, краткое описание используемых информационных технологий и расчеты с необходимыми пояснениями. В записке не должно быть пространных рассуждений и описания вопросов, не связанных с темой проектирования. Записка должна быть краткой и четко отражать сущность предлагаемых инженерных решений.

Структурными элементами проекта АС являются:

- текстовый документ (пояснительная записка, ПЗ);
- графический материал (альбом схем).

ПЗ должна включать структурные элементы в указанной ниже последовательности:

- титульный лист;
- задание;
- реферат;
- содержание;
- глоссарий;
- обозначения и сокращения;
- введение;
- техническое задание по ГОСТ 34.602-89;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников.

В этих разделах ПЗ студент должен:

- идентифицировать цели АС технологического процесса;
- определить объем автоматизации;
- разработать ТЗ;
- осуществить аргументированный выбор КИПиА;
- разработать систему автоматического регулирования одним из параметров объекта управления или ТП;
- разработать автоматизированную систему управления технологическим процессом;
- разработать эскизную документацию проекта.

ПЗ выполняется на русском языке. Каждый структурный элемент ПЗ следует начинать с нового листа. Название структурного элемента в виде заголовка записывают строчными буквами, начиная с первой прописной, симметрично тексту ПЗ. При подготовке заголовков необходимо:

- выделять каждый заголовок, выбирать его стиль;
- находить в перечне типов форматирования и выбирать вид заголовка (например, заголовок 1 / *heading 1*), если есть подзаголовки, то выбрать (заголовок 2 / *heading 2*) – Ок (щелкнуть по выбранному виду заголовка левой кнопкой мышки).

Пояснительная записка и альбом схем должны быть сшиты в отдельности и иметь обложки.

Титульный лист. Форма титульных листов и образцы их заполнения должны соответствовать нормативным требованиям обучающей организации. Пример титульного листа приведен в прил. 1.

Задание. Проект должен выполняться на основе индивидуального задания, содержащего требуемые для решения поставленных задач исходные данные, обеспечивающие возможность реализации проекта в соответствии с уровнем профессиональной подготовки каждого студента (прил. 2).

Реферат размещается на отдельном листе (странице). Рекомендуемый средний объем реферата – 850 печатных знаков. Объем реферата не должен превышать одной страницы. Заголовком служит слово «Реферат».

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме проекта, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестверазделов, использованных источников, листов графического материала;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста ПЗ, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска.

Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать в виде структурных частей:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- метод или методологию проведения работы (исследования) и аппаратуру;
- полученные результаты и их новизну;
- основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики;
- степень внедрения;
- рекомендации или итоги внедрения результатов работы;
- область применения;
- прогнозные предположения о развитии объекта исследования (разработки);
- дополнительные сведения (особенности выполнения и оформления работы и т.п.).

Если в пояснительной записке нет сведений по какой-либо из перечисленных структурных частей реферата, то в тексте реферата эта часть не упоминается, при этом последовательность изложения сохраняется.

Изложение материала в реферате должно быть кратким и точным и соответствовать положениям ГОСТ 7.9-95. Сложных грамматических оборотов следует избегать.

Содержание включает введение, заголовки всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение, список использованных источников и наименования приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы. Для подготовки страницы *содержание* необходимо:

- активизировать опцию вставка/разрыв/новая страница;
- активизировать кнопку вставка/ссылка/оглавление и указатели/оглавление (*Insert-Reference-Index and tables – table of content*) – *Ok*.

Материалы, представляемые на технических носителях данных ЭВМ (*CD*), должны быть перечислены в содержании с указанием вида носителя, обозначения и наименования документов, имен и форматов соответствующих файлов, а также места расположения носителя в пояснительной записке.

Обозначения и сокращения. Если в пояснительной записке используется значительное количество (более пяти) обозначений и (или) сокращений, то оформляется структурный элемент «Обозначения и сокращения», содержащий перечень обозначений и сокращений, применяемых для данной работы (проекта). Этот раздел должен следовать сразу

за глоссарием. Запись обозначений и сокращений в этом элементе приводят в порядке их появления в тексте с необходимой расшифровкой и пояснениями.

В тексте документа допускается приводить без расшифровки общепринятые сокращения, установленные в национальных стандартах и правилами русской орфографии: ЭВМ, АС, с. – страница, т.е. – то есть, т.д. – так далее; т.п. – тому подобное; и др. – и другие; в т.ч. – в том числе; пр. – прочие; т.к. – так как; г. – год; гг. – годы; min. – минимальный; max. – максимальный; шт. – штуки; св. – свыше; см. – смотри; включ. – включительно и др.

В тексте документа не допускается:

- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами, а также в данном документе;
- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

В тексте следует избегать необоснованных (излишних) сокращений, которые могут затруднить пользование данным документом (допускается сокращение русских слов и словосочетаний по ГОСТ 7.12-93). Перечень допускаемых сокращений, используемых в текстовой конструкторской документации, приведен в ГОСТ 2.316-2008.

Введение. Во «Введении» указывают цель работы, область применения разрабатываемой проблемы, ее научное, техническое и практическое значение, экономическую целесообразность. Во введении следует:

- раскрыть актуальность вопросов темы;
- охарактеризовать проблему, к которой относится тема, изложить историю вопроса, дать оценку современного состояния теории и практики;
- привести характеристику отрасли промышленности, предприятия – базы дипломной практики;
- изложить задачи в области разработки проблемы, т.е. сформулировать задачи темы работы;
- перечислить методы и средства, с помощью которых будут решаться поставленные задачи;
- кратко изложить ожидаемые результаты, в т.ч. технико-экономическую целесообразность выполнения данной темы либо экономическую эффективность;
- указать цель проектирования, например, целью курсового проекта является проектирование автоматизированной системы управления.

Рекомендуемый объем введения – 1–2 с.

Техническое задание должно быть разработано в соответствии с требованиями [1и.], оформлено в виде отдельного раздела. Оно должно включать в себя: назначение проектируемой АС; задачи, решаемые системой; требования по обеспечению реализации функций; требования, устанавливаемые к таким видам обеспечения, как техническое, программное, информационное, алгоритмическое, лингвистическое, метрологическое обеспечения; требования по безопасности (как информационной, так и противоаварийной). Для разработки ТЗ обычно используются готовые шаблоны. Их можно получить у преподавателя. Объем ТЗ должен не превышать 5–7 с. *Требования, устанавливаемые в ТЗ, проверяются решениями, приведенными в пояснительной записке. Те требования ТЗ, которые не подтверждены решениями, приведенными в ПЗ, считаются не выполненными в проекте. В этих случаях преподаватель имеет право снизить оценку проекта или не разрешить его защиту.*

Основная часть. Содержание основной части работы должно отвечать заданию и ТЗ. Наименования разделов основной части должны отражать выполнение задания. Содержание и объем основной части студент и руководитель формируют совместно, и они должны соответствовать уровням технического предложения и эскизного проекта (ГОСТ 7.32-2017). В основной части необходимо представить следующие разделы:

Раздел описания технологического процесса как объекта автоматизированного управления. В этом разделе необходимо: описать общую структуру и особенности технологического процесса, подлежащего автоматизированному централизованному управлению; 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 (объем раздела должен быть не более 3–5 с.).

Разделы разработки архитектуры и схем АС. В этих разделах необходимо обосновать выбор нормативных документов, определяющих требования к функциональному обеспечению АС и описать структурные схемы АС, функциональную схему автоматизации, принципиальную электрическую схему, схему сигнализации, схему размещения, схему монтажных соединений в шкафу управления, схему внешней разводки (1–2 с. на каждый раздел).

Разделы выбора компонентов АС. В этих разделах необходимо обосновать выбор измерительного, исполнительного и контроллерного оборудования, выбор SCADA системы. Должны быть приняты во внимание условия эксплуатации АС. При выборе измерительных приборов следует

обосновать погрешность каналов измерений (не только датчиков). Выбор КИПиА должен сопровождаться проектными предложениями закладных конструкций. Каждый раздел выбора рекомендуется завершать разработкой отдельных резюме (заключений) по выбору ПО, измерительных, исполнительных устройств и ПЛК (1 с. каждое). В разделе должны быть приведены заполненные листы опроса поставщика КИПиА.

Раздел выбора алгоритмов управления. В этом разделе необходимо описать алгоритм работы АС в целом и (или) отдельных его технологических узлов в словесной форме с использованием конструкции «Если..., то..., иначе...», в виде формализованной логики, или в графическом виде. Примерами такого описания могут быть блок схемы управления пуском (остановом) технологического оборудования; таблицы контроля и управления технологическим параметром, сбором данных; структурные схемы автоматического регулирования параметрами технологического оборудования. Алгоритмы автоматического регулирования могут выбираться либо в классе простейших релейных алгоритмов, либо в классе ПИД или АРС-регулирования. Раздел должен быть завершен указанием численных значений параметров регулятора и результатов моделирования в ПО *Matlab* (3–5 с.).

Раздел разработки информационного обеспечения. В этом разделе должна быть разработана и описана схема информационных потоков АС и атрибутный состав одного из каналов измерения АС или тега SCADA (1–2 с.).

Раздел разработки экранных форм АС. В этом разделе должны быть разработаны экранные формы в программном пакете SCADA (1 форма) и, например, в *MS Visio* (1 форма) и описано дерево экранных форм АС (3–5 с.).

Разделы проектирования графических схем должны содержать схемы, например, в *MS Visio*, которые рекомендуются объединить в виде отдельного альбома схем.

Раздел проектирования программы испытаний должен включать в себя проект комплексных испытаний одного из каналов сбора данных измерений.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку полноты решения поставленных задач, рекомендации по конкретному использованию результатов работы, ее экономическую, научную, социальную значимость.

Список использованных источников (литературы). В список включают все источники, на которые имеются ссылки в ПЗ. Источники в списке располагают и нумеруют в порядке их упоминания в тексте ПЗ арабскими цифрами без точки.

Сведения об источниках приводят в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ 7.82-2001. Примеры библиографических описаний источников приведены в СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Альбом схем

В альбоме рекомендуется следующий перечень рабочих документов:

1. Функциональная (структурная) схема технологического процесса, выполненная в VISIO (ФЮРА. 425280. 001 С 2).

2. Перечень входных/выходных сигналов ТП (таблица установленной формы) (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 02).

3. Схема структурная комплекса технических средств АС, выполненная в VISIO (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 03).

4. Схема соединения внешних проводок, выполненная в VISIO (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 04).

5. Схема автоматизации (функциональная схема узла сбора сигналов измерений ГОСТ 21.404-2013 и (или) ANSI/ISA-S 5.1-2009). Функциональная схема обвязки исполнительного устройства (задвижки, отсекающего клапана, регулирующего клапана, насоса) (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 06).

6. Схема норм погрешностей одного из каналов измерения.

7. Принципиальная схема (релейная схема пуска/останова оборудования) (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 07).

8. Структурная схема САР локального технологического объекта. Результаты моделирования (исследования), выбор параметров регулятора САР в *MatLab* (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 08).

9. Алгоритм оперативного управления пуска, остановка оборудования. Блок-схема алгоритма (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 09).

10. Алгоритм сбора данных измерений. Блок-схема алгоритма (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 10).

11. Дерево экранных форм (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 11).

12. SCADA-формы экранов мониторинга и управления диспетчерского пункта (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 12-13).

Приложения в проекте рекомендуется выполнять на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А4×3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301.

Перед выполнением проекта студент должен согласовать с преподавателем:

1) выбор технологического объекта, для которого необходимо разработать схему автоматизации, схему электрического питания;

2) части функциональной схемы ТП, подлежащие обязательной проектной разработке;

3) канал измерения, для которого необходимо провести подробный расчет погрешности;

4) параметры ТП для расчета пропускной способности клапана и схему автоматического регулирования этого параметра;

5) технологический объект и его параметры для расчета САР.

Графический материал должен быть органически увязан с содержанием работы, в наглядной форме иллюстрировать основные положения анализа, проектирования и использования информационных технологий.

Презентация проекта. Для защиты пояснительная записка должна быть представлена в формате *.pdf. Презентация проекта должна быть подготовлена в виде слайдов формата *MS Power Point*, т.к. защита проекта происходит в комиссии, а также возможна публичная защита проектных решений.

2. ПРОГРАММНОЕ, ИНФОРМАЦИОННОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АС

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

Технологический процесс (ТП), согласно ГОСТ 3.1109-82 – это «часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда».

Технологическими процессами в нефтегазовой отрасли называются совокупности операций добычи, обработки, переработки, транспортирования, складирования и хранения, которые являются основной составной частью производственного процесса.

В соответствии со стандартом [ГОСТ Р МЭК 61512] объекты автоматизации технологического процесса рекомендуется идентифицировать в следующей иерархической значимости:

- технологическая линия (например, блочная кустовая насосная станция; установка подготовки нефти, газа; система измерения качества и количества и т.д.);
- единица оборудования (технологическая установка, например, сепаратор, магистральный трубопровод, трубопроводная обвязка, печь, котел, насосная станция и т.д.);
- модуль оборудования (технологическое устройство, например, блок управления насосом, компрессором);
- управляющий модуль (исполнительное устройство, привод клапана, привод задвижки и др.).

Эти объекты могут управляться автоматически, автоматизированным или смешанным образом.

Автоматизированная система (АС) – это программно-технический комплекс, который выполняет как функции контроля за параметрами и характеристиками процесса, результатом чего является сигнализация оператору о выходе контролируемых параметров за границы установленного контрольного интервала, так и функции автоматического и автоматизированного управления, оказывающего непосредственное воздействие на контролируемую часть процесса, для того чтобы не нарушались установленные контрольные границы.

Целью АС (ГОСТ 34.601-90) является:

- обеспечение высоких технико-экономических показателей работы за счет автоматизированного поддержания наиболее рационального режима работы технологического оборудования в рамках заданных плановых и технологических ограничений;
- обеспечение руководства Заказчика точной, достоверной и оперативной информацией о работе объекта;
- уменьшение материальных и трудовых затрат;
- обнаружение возникновения и предотвращение аварийных ситуаций, автоматическая защита технологического оборудования объектов управления;
- обеспечение экологической безопасности производства.

В ТЗ проекта студент должен указать *задачи* автоматизации объекта управления, выбрав их из нижеприведенного перечня:

- 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.

При решении этих задач АС должна выполнять (рис. 2.1):

- статистическую обработку и регулирование (стабилизацию) контролируемых параметров ТП в соответствии с технологическим регламентом;
- диспетчерское управление операциями или аппаратами;
- программное логическое управление;
- оптимизацию управления переходными режимами, или отдельными стадиями процесса с экспертной поддержкой принятия решений;
- адаптивное управление технологическим процессом в целом с онлайн самообучением;
- оперативную коррекцию суточных и сменных плановых заданий для достижения стратегических целей;
- прямое и (или) косвенное измерение (сбор, первичная обработка и хранение информации о ТП);
- контроль, сигнализацию, регистрацию отклонений параметров ТП и состояний технологических установок;
- расчет технико-экономических и эксплуатационных показателей ТП и оборудования;
- анализ срабатывания блокировки и защит технологических установок (определения причин нарушения хода ТП), диагностику и прогнозирование хода ТП и состояния комплекса программно-технических средств АС;
- оперативное отображение информации о показателях выполняемого ТП;
- выполнение процедур автоматического обмена информацией со смежными и вышестоящими АС.

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; нефтетеperекачивающие станции, пункты учета газа. К вспомогательным объектам автоматизации относятся системы водо-, тепло-, масло-, энерго- и воздухопонабжения. Все эти объекты в той или иной мере автоматизированы. Однако автоматизация многих из них требует современного реинжиниринга с использованием новых информационных технологий.

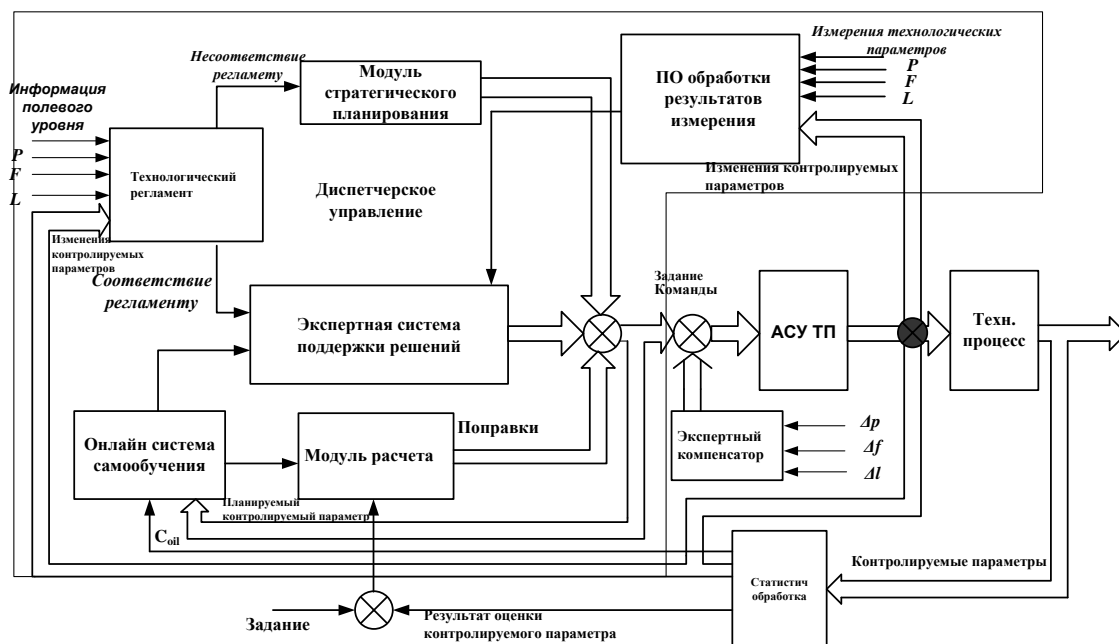


Рис. 2.1. Структурная схема АС

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 остановок 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.

К основным функциям АС относятся:

- автоматическая диспетчеризация параметров технологического оборудования (уровней, давлений, уровней раздела фаз, температур и расходов по технологическим аппаратам);
- сравнение измеренных значений технологических параметров с заданными значениями и формирование сигналов управления, а также предупредительной и аварийной сигнализации;
- отображение хода технологического процесса в виде мнемосхем, трендов (графиков изменения параметров во времени), индикаторов; хронометрирования основных технологических параметров, формирование протокола событий и архивных данных;
- оперативное автоматическое и ручное управление задвижками и регулирующими клапанами с пульта автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора или технолога;
- оперативное автоматическое и ручное управление задвижками и регулирующими клапанами с пульта автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора или технолога;
- имитация объекта управления, различных аварий и отказов, для независимой отладки и обучения обслуживающего персонала.

Описание технологического процесса следует вести в определенной последовательности.

Пример описания ТП

Состав объекта автоматизации. В состав установки комплексной подготовки нефти (УКПН) входит следующее технологическое оборудование:

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

Желательно описание ТП представлять в виде пронумерованных абзацев, например, в следующем виде:

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.

Исходной задачей начального этапа проектирования АС является определение необходимого объема контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), который в данном пособии будем называть объемом автоматизации АС.

Для описания объема автоматизации в проекте следует выделить информационные переменные ТП, характеризующие управляемое функционирование системы, проектные (*установленные нормативными документами НГО*) и переменные, обеспечивающие дополнительные (*предполагаемые потребности заказчика*).

Так, например, отраслевым стандартом ОАО «Роснефть» [20] устанавливаются объемы автоматизации технологических установок с выделением трех классов АС, которые обеспечивают достижения установленных и предполагаемых целей Заказчика:

1) системы, обладающие лишь теми средствами автоматизации и функциональными возможностями, которые позволяют осуществлять *безопасное управление* технологическим процессом *в соответствии с действующими нормативными требованиями государственных органов*;

2) системы, обладающие улучшенными средствами и возможностями, позволяющими использовать *дополнительные источники эффективности автоматизации и соответствующими сложившейся мировой практике автоматизации* технологических объектов нефтегазодобычи;

3) системы, реализующие новейшие достижения в развитии автоматизации технологических процессов НГД и требования, предъявляемые вышестоящим уровнем интегрированной АСУ предприятия к АС объектов нефтегазодобычи, благодаря чему их создание оказывается высокорентабельным направлением капиталовложений.

Можно указать следующие основные принципы по определению необходимого объема автоматизации, которых следует придерживаться при решении задач проектирования АС:

Декомпозиционный принцип – это математическая формализация метода функциональной декомпозиции технологического процесса (объекта управления) и последующий расчет его степеней свободы (Degrees of Freedom, DOF) [1]. Для этого сначала весь технологический процесс делят на ряд функциональных подсистем, а затем каждая из них разделяется до уровня отдельных аппаратов (установок), для которых определяется число степеней свободы их процессов и определяется, какие именно КИПиА должны быть выбраны для управления свободными (независимыми) переменными, характеризующими процесс.

Эвристический принцип – это отраслевой профессионально выверенный, эвристический метод, который позволяет специалистам при технологическом проектировании автоматизации производств НГО выбирать наиболее удачные решения задач автоматизации технологических объектов, без полного перебора всех возможных альтернативных вариантов. Эти решения в последующем задаются в виде отраслевых нормативных документов [20].

При анализе математических моделей технологических установок с большим числом варьируемых переменных разработка оптимальной стратегии управления, обеспечение эффективности и простоты автоматизации зависят во многом от поиска и установления набора свободных (управляемых) переменных, обеспечивающих управляемость технологическим процессом.

Концепция степеней свободы предоставляет такой инструмент, с использованием которого *степень свободы приходится на любую независимую переменную, входящую в процесс, изменение которой будет в той или иной степени влиять на один или более выходной параметр, характеризующий производительность всего процесса.*

Для реализации этой концепции осуществляют выбор:

- контролируемых переменных (выходных переменных);
- задающих воздействий;
- конфигурации управления;
- типа регулятора (ПИД, АРС, МРС и др.).

Соответственно, описание контуров АС выбранными переменными, их структура определяют необходимый объем автоматизации.

Описание математической модели технологического процесса (объекта управления) исходит из определенного числа m переменных параметров, характеризующих состояние ТП и его соответствие уста-

новленным техническим условиям. Эти информационные переменные связаны независимыми неявными функциями. Число таких функций n . Обычно система уравнений математической модели технологического объекта содержит избыток информационных переменных по сравнению с числом уравнений. Этот избыток определяет число независимых (свободных) переменных [5], которыми следует управлять с использованием средств автоматизации. Их число называют степенью свободы технологического процесса (отдельной установки) или производства в целом DOF . Согласно [6] степень свободы технологического процесса удобно вычислять по формуле

$$DOF = S_i + S_o + H - A,$$

где S_i – число входных переменных;

S_o – число выходных переменных;

H принимает значение 1, если извне в процесс поступает энергия, иначе она равна 0;

A принимает значение 1, если не используется (не контролируется) одна из переменных, характеризующих приход/расход процессной продукции, иначе – 0.

Рассмотрим в качестве примера смеситель (рис. 2.2). Здесь $S_i = 2$; $S_o = 1$; $H = 0$ (нет поступающей извне энергии) и $A = 0$ (считается, что оба входных потока, создающих приход/расход массовой составляющей продукции в смесителе, контролируются). Если с целью повышения эффективности работы смесителя минимизируется потребление энергии приводом, то $A = 1$.

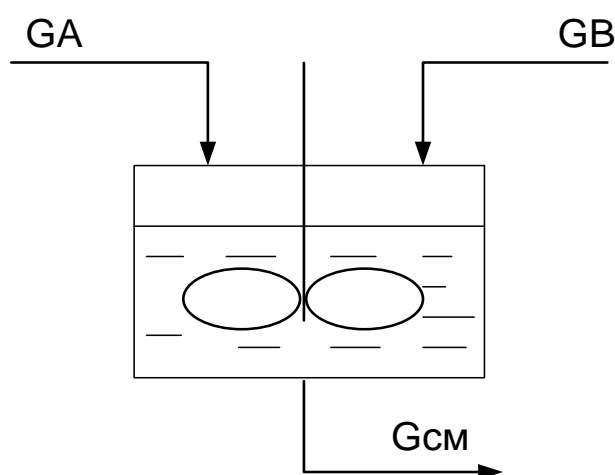


Рис. 2.2. Смеситель

В случае неучета энергии потребления, $DOF = 3$ и объем автоматизации смесителя показан на рис. 2.3.

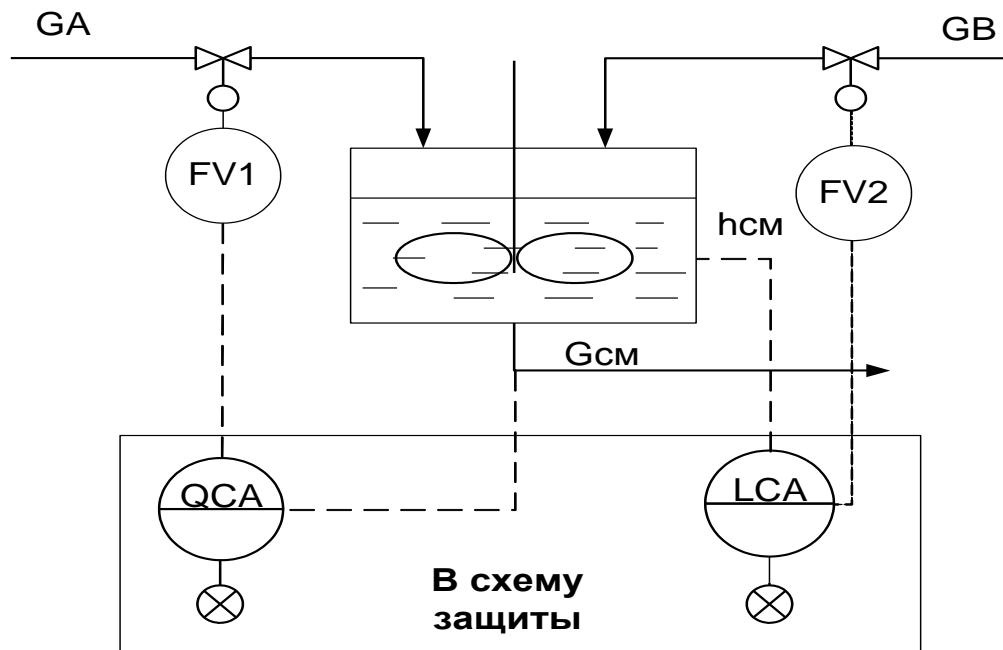


Рис. 2.3. Управление смесителем

С учетом требований по блокировке работы привода из-за опасных событий объем автоматизации может быть представлен в виде схемы (рис. 2.4).

Все переменные, которые не саморегулируются должны быть контролируемыми. Примером является выходная переменная, которая имеет неограниченное изменение в ответ на постоянно действующее входное воздействие, например, уровень жидкости в бачке ведет себя как интегратор.

Выбор пределов измерений выходных переменных следует выполнять в соответствии со спецификацией оборудования и его операционных ограничений (например, температуры, давления, композиции).

Выбор выходных переменных следует выполнять среди тех, которые:

- являются прямым показателем качества продукции (например, состав, расход) и тех, которые наиболее сильно влияют на его состояние (например, температура или давление);
- взаимодействуют с другими контролируемыми переменными, например, давление в паровом коллекторе, с давлением подключенного к нему потребителя. Если давление не регулируется, оно будет действовать как значительное нарушение связанного с ним оборудования;
- имеют благоприятные динамические и статические характеристики.

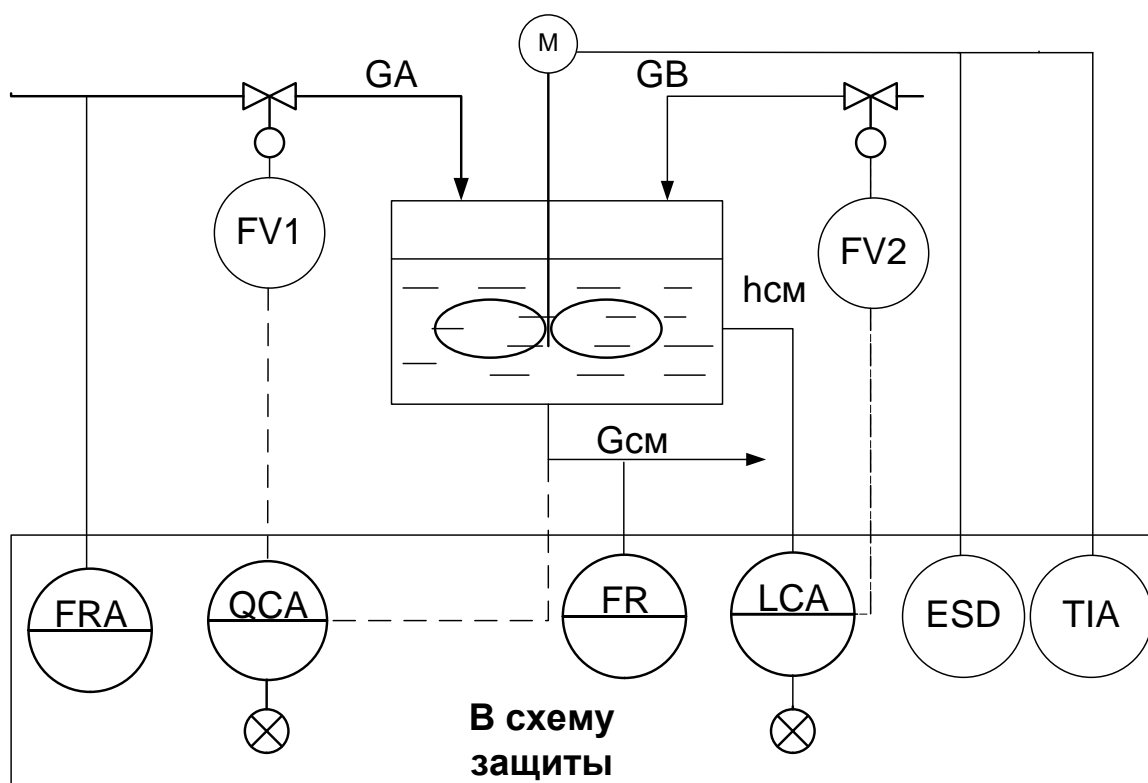


Рис. 2.4. Управление смесителем с улучшенными средствами и возможностями

Переменные, которые имеют большие временные задержки измерения, большие постоянные времени или нечувствительны к управлению, не годятся быть выходными переменными САР классического типа.

Выбор входных переменных следует выполнять среди тех, которые имеют большое влияние на контролируемые переменные. В идеале, вход должен иметь значительное влияние лишь на один выход.

Для хорошего управления необходимы надежные, точные измерения. Неадекватные измерения являются ключевым фактором низкой эффективности систем управления.

Функциональность любой АС должна быть достаточной для обеспечения возможности управления технологическим объектом в соответствии с целями создания и функционирования системы, установленными в техническом задании.

При выборе целей и связанного с ними состава функций следует иметь в виду, что существенное повышение показателей экономической отдачи системы часто может быть достигнуто только путем применения дополнительных функций (*предполагаемых потребностей*), устанавливаемых заказчиком, и использования оптимизирующих алгоритмов управления.

Методология использования степени свободы технологического процесса (объекта управления) позволяет устанавливать ориентировочный объем автоматизации при выполнении проектов АС для различных классов от базового до систем повышенного качества.

Эвристический принцип определения объема автоматизации строится на основе рекомендаций корпоративных стандартов. Так, например, согласно требованиям [20] скважины добычи нефти должны иметь объемы автоматизации, приведенные в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Функционал АС скважины фонтанной

Наименования параметров и состояний	Функции АСУТП				
	измерение	управление	регулирование	сигнализация	противоаварийная защита
1. Давление до штуцера	Ф	–	–	Ф	–
2. Давление после штуцера	Ф	–	–	Ф	–
3. Управление работой скважины	–	Ф	–	–	–
Все параметры рекомендуемые					

Таблица 2.2

Функционал АС скважины, оснащенной ЭЦН (нефтяная скважина)

Наименования параметров и состояний	Функции АСУТП				
	измерение	управление	регулирование	сигнализация	противоаварийная защита
1. Ток электродвигателя насоса	Ф	–	–	Ф	Ф
2. Давление буферное	Ф	–	–	Ф	Ф
3. Давление на приеме насоса (при наличии ТМС)	–	–	–	Ф	–
4. Температура насоса (при наличии ТМС)	–	–	–	Ф	–
5. Сопротивление изоляции кабеля и электродвигателя	Ф	–	–	Ф	Ф
6. Состояние насоса (включен/отключен)	–	Ф	–	Ф	–

Наименования параметров и состояний	Функции АСУТП				
	измерение	управление	регулирование	сигнализация	противоаварийная защита
7. Работа по заданной временной программе	–	Ф	–	Ф	–
8. Аварийная остановка ЭЦН	–	–	–	Ф	–
9. Недогрузка по току двигателя	–	–	–	Ф	–
10. Перегрузка по току двигателя	–	–	–	Ф	–
11. Турбинное вращение	–	–	–	Ф	–
12. Деблокировка аварии	–	–	–	Ф	–

Примечание:
1. Параметры № 9-12 рекомендуемые
2. Параметр № 12 «Деблокировка аварии» применять только совместно с расшифровкой причины аварийной остановки ЭЦН (параметры № 9-11)

Задание по описанию технологического процесса

На этом этапе разработки проекта 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;
- кратко обосновать технико-экономическую целесообразность затрат на разработку, внедрение и эксплуатацию средств и систем автоматизации;
- подготовить таблицу объема автоматизации технологического процесса, ограниченного заданием проекта.

В проекте необходимо привести на основе литературы и интернет-источников описание функционального объема автоматизации. По ре-

результатам описания необходимо разработать структурную схему технологического процесса. Пример такой схемы приведен в прил. 3. Не следует путать функциональную схему технологического процесса (она обычно задается в качестве исходных материалов для проекта автоматизации) со схемой автоматизации, которая разрабатывается в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 21.408 и ГОСТ Р 21.208.

Конечным результатом разработки проекта на этом этапе является подготовка таблицы состава (перечня) вход/выходных сигналов ТП (измерительных, сигнальных, командных и управляющих, прил. 4).

2.2. Выбор архитектуры и профиля АС

При разработке архитектуры АС следует выделять точки зрения (взгляд) Заказчика (совокупность архитектурных представлений на проект АС) и взгляд исполнителя (использование принятой в проектной организации архитектуры АС).

Российские стандарты не определяют понятие архитектуры автоматизированной системы (АС). Однако в структуре стадий и этапов процесса создания АС, которые определяются, в частности, ГОСТ 34.602-89, необходимость в синтезе архитектуры системы появляется уже на начальной стадии разработки в виде концепции АС, которая затем используется для формирования содержательной части технического задания АС.

Архитектура автоматизированной системы – это концепция, определяющая структуру проектируемой АС, выполняемые функции и взаимосвязь ее основных компонентов.

Архитектура АС задает дополнительную ценность проекту посредством установления предприятием четкой структуры, единения системы и взаимосвязей всех основных компонентов автоматизированного управления.

Эффект разработки архитектуры на начальной стадии проекта АС сводится в последующем при ее эксплуатации к сокращению расходов:

- на сбор данных;
- на переделки, связанные с недопониманием разработчиком задач Заказчика;
- на неправильный выбор приоритетных инвестиций;
- на операционные эксплуатационные действия за счет планирования и стандартизации ИТ на предприятии.

Задачей разработки архитектуры является создание физического, эстетического и психологического пространства, которое благоприят-

ствуется выполнению автоматизированного управления технологическим процессом.

К основным целям архитектуры автоматизированной системы управления можно отнести следующие:

- четкая формулировка допущений и направлений политики предприятия в отношении автоматизации производства;
- определение пространства автоматизированного управления производственным и технологическим процессами предприятия посредством установления ключевых каналов показателей достижения их эффективности и обеспечивающих каналов измерения и управления.

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?

При проектировании архитектуры современных АС можно использовать ряд известных типовых решений:

- файл-серверную архитектуру;
- клиент-серверную архитектуру;
- трехуровневую клиент-серверную архитектуру;
- архитектуру на основе *Internet/Intranet*- и *CGI/API*-технологий.

Клиент-серверная архитектура может выполняться в тонком и толстом вариантах.

Основным фактором, определяющим архитектуру АС, является степень ее централизации (рис. 2.5). Тонкий вариант использования среды ИТ означает, что меньшая часть работы выпадает на долю клиента, т.е. система полностью контролируется сервером (в случае АС ПЛК), а толстый вариант означает, что большая часть работы реализуется клиентским АРМ.

Принципиальным недостатком (рис. 2.5, а) архитектуры является отсутствие единого информационного пространства. Различные БД предприятия в такой архитектуре слабо связаны между собой, модели данных не унифицированы. Данные, посредством которых пользователи (АРМ) предприятия взаимодействуют друг с другом, передаются в лучшем случае по сети или с использованием флеш-носителей. Поддержание БД в актуальном состоянии является сложной задачей их администрирования.

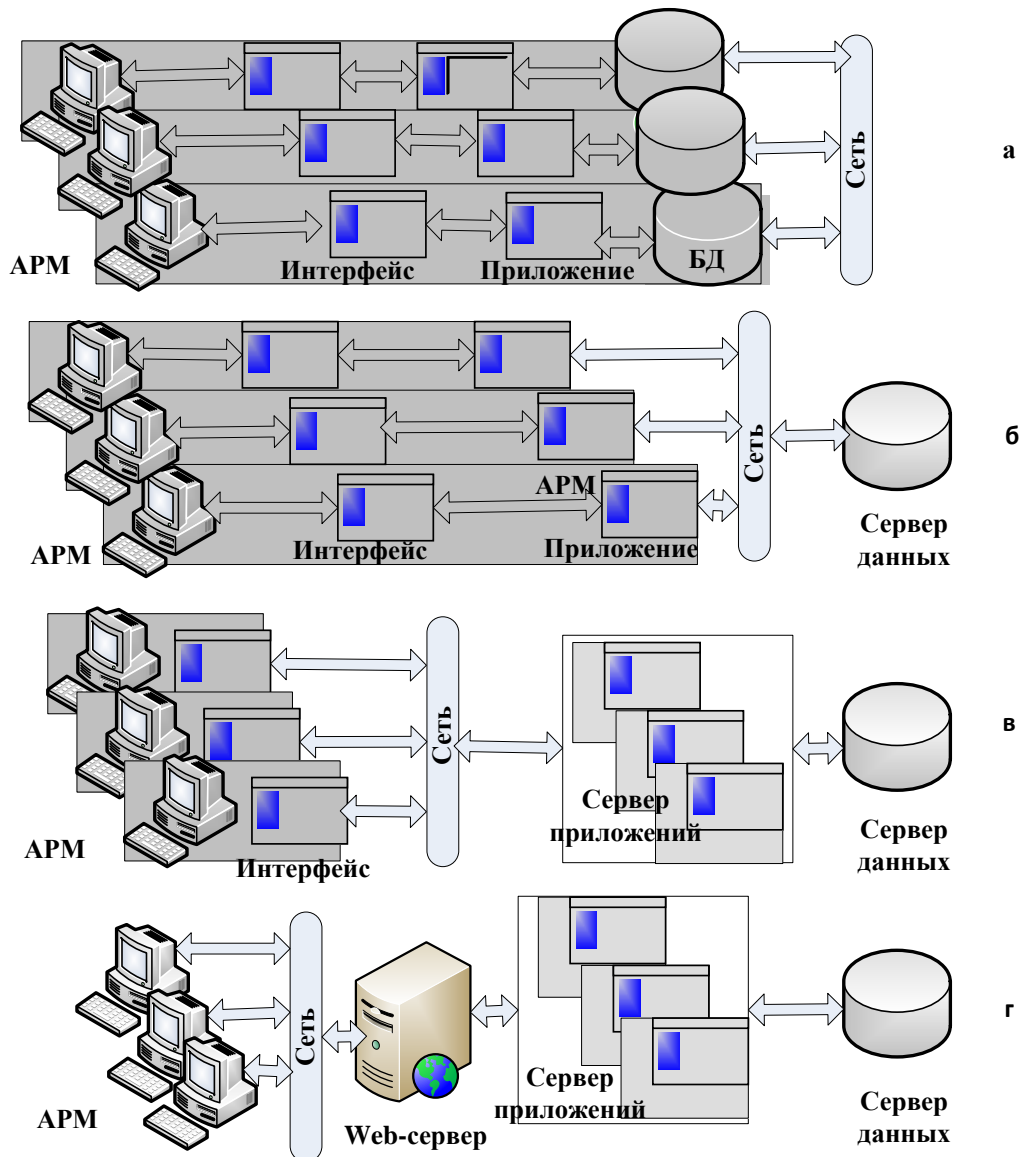


Рис. 2.5. Типовые архитектуры АС: *а* – полностью децентрализованная одноуровневая файл-серверная архитектура; *б* – двухуровневая клиент-серверная архитектура; *в* – трехуровневая клиент-серверная архитектура; *г* – четырехуровневая, полностью централизованная архитектура

При двухуровневой архитектуре (рис. 2.5, *б*) – любой АРМ исполняет только две функции: обработку данных и формирование пользовательского интерфейса. Необходимая для этого информация поставляется с сервера данных. Достоинством такой архитектуры является то, что изменения управленческих процедур и алгоритмов обработки данных не приводят к существенным изменениям алгоритмов обслуживания данных.

В трехуровневой клиент-серверной архитектуре (рис. 2.5, *в*) все функции управления становятся частью функциональной модели пред-

приятия. Это позволяет типизировать взаимную согласованность, унифицировать функции обработки информации и передавать их единому исполнителю – серверу приложений. Такая архитектура получила название трехуровневой, частично централизованной архитектуры. В трехуровневой архитектуре АС для решения задач управления АРМ посылает запрос серверу приложений, который активизирует требуемую задачу и, в свою очередь, обращается к серверу данных за информацией. При этом АРМ обеспечивает лишь пользовательский интерфейс, организация которого сводится к компоновке рабочего стола диспетчера АРМ, определению требуемых ему процедур и организации взаимодействия с ними. В трехуровневой архитектуре АРМ все-таки обладает собственной функциональностью – он реализует интерфейс.

Совершенно иной принцип применяется в web-технологии. С ее помощью пользовательский интерфейс кодируется в виде файлов, которые помещаются на web-сервер. Эти файлы активизируются стандартным браузером.

Четырехуровневая, полностью централизованная архитектура (рис. 2.5, *г*) позволяет любому работнику, наделенному установленной ответственностью, превратить свой компьютер в профессиональный АРМ и включиться в решение срочных производственных задач.

Учитывая перспективы развития АС, наиболее подходящими вариантами является трехуровневая или четырехуровневая клиент-серверная архитектура (рис. 2.5).

Выбранное на их основе решение обладает следующими достоинствами:

1. Между клиентской программой и сервером приложения передается лишь минимально необходимый поток данных, аргументы вызываемых функций и возвращаемые от них значения. Это обеспечивает теоретический предел эффективности использования линий связи, даже при работе с *ANSI*-терминалами, не говоря уже об использовании протоколов *http*-типа.

2. Сервер приложения ИС может быть запущен в одном или нескольких экземплярах на одном или нескольких компьютерах. Это позволяет использовать вычислительные мощности предприятия эффективным и безопасным способом, насколько этого пожелает администратор компьютерной сети АС.

3. Между сервером приложений и СУБД формируется небольшой трафик. И, несмотря на то, что трафик между сервером приложений и СУБД может быть большим, это всегда трафик локальной сети, а их пропускная способность достаточно велика и дешева. В крайнем случае,

всегда можно запустить сервер приложений и СУБД на одной машине, что автоматически сведет сетевой трафик к нулю.

4. Обеспечивается заметное снижение нагрузки на сервер данных, а это ведет к повышению скорости работы АС в целом.

5. Позволяет дешевле наращивать функциональность АС и обновлять ее ПО.

Определение профиля системы автоматизации

При разработке архитектуры проекта АС следует описать ее профиль [1]. Здесь основное внимание нужно уделить двум аспектам архитектурной функциональности – соответствию определенным стандартам и отраслевым регламентам, и способности на адекватном уровне выполнять установленные ТЗ функции АС.

Профиль АС включает в себя

- информацию, необходимую для идентификации АС;
- описание функциональности и данных;
- набор стандартов, ориентированных на выполнение установленных ТЗ задач АС.

Методологической основой для разработки профиля АС может служить 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 (рис. 2.6).

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 эксплуатацией АС, отражающих требования ТЗ. При этом надо иметь в виду итерационный характер формирования и ведения профилей конкретной АС в течение ее жизненного цикла, что связано как с итерациями проектных решений, так и развитием системы в процессе эксплуатации.

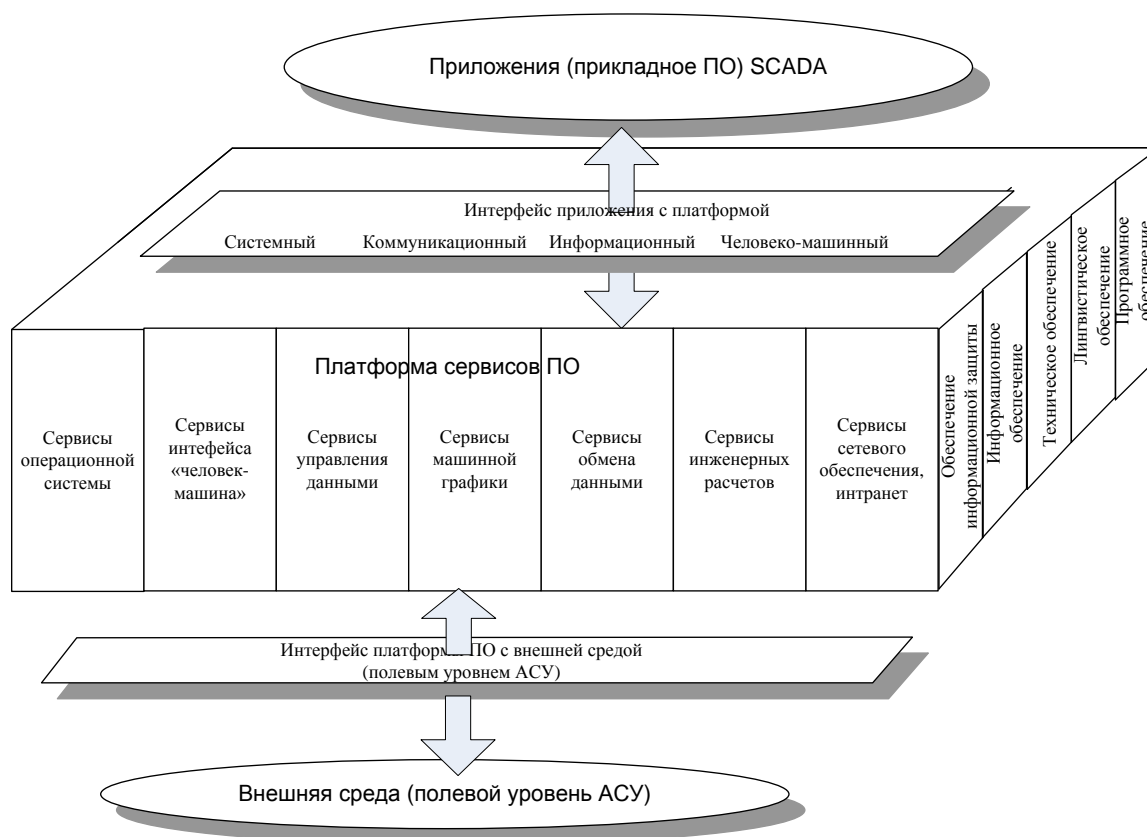


Рис. 2.6. Концептуальная OSE/RM модель ПО АС

Архитектурное решение (рис. 2.7) и профиль используются для последующей разработки структуры АС.

Проектные решения при построении концептуального решения АС выполняются в следующей последовательности:

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 категорий позволяет решить главную задачу для Заказчика и разработчика: обеспечить возможность построения АС из компонентов, поставляемых различными изготовите-

лями, и, как следствие, обеспечить независимость от поставщиков АС в целом;

2) 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.

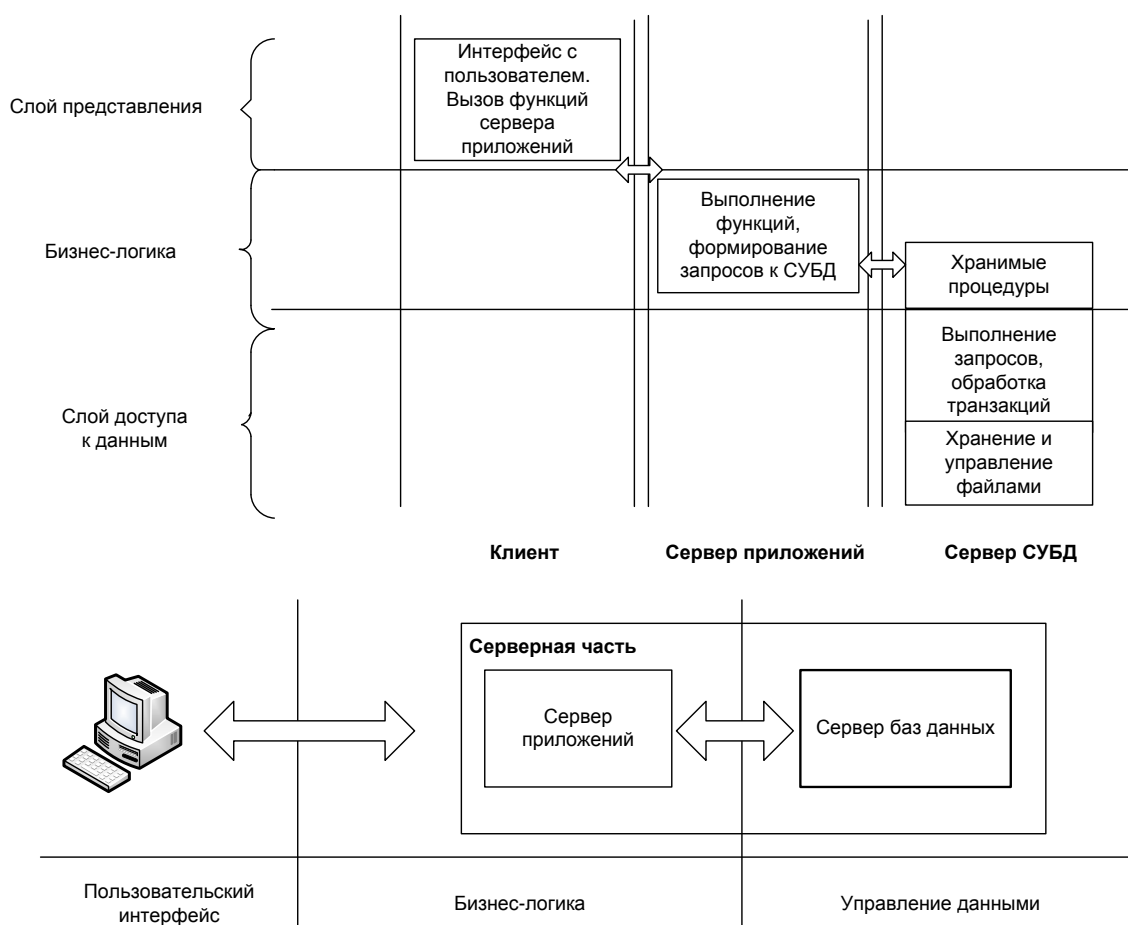


Рис. 2.7. Трехуровневая клиент-серверная архитектура

Задание по разработке архитектуры и профиля АС

В проекте необходимо описать устанавливаемую проектом архитектуру АС, обосновать содержательный состав *OSE/RM*-модели АС, осуществить выбор нормативных документов, определяющих требования к функциональному обеспечению АС, ее системному обеспечению

(операционной системе, СУБД, серверу приложений, если это будет необходимо), стандартам для каналов связи, к выбору инструментальных средств разработки и эксплуатации АС.

2.3. Выбор программного обеспечения АС

В настоящее время архитектура информационных и автоматизированных систем реализуется в виде открытой «клиент-серверной» модели. Основным критерием выбора архитектуры и инфраструктуры АС является минимизация ее совокупной стоимости приобретения и эксплуатации. Интерфейсные связи в современных АС устанавливаются стандартами *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. 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 установленный *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.

Недавно разработанный стандарт *OPC UA (Unified Architecture)* унифицирует полезный для ПО АС набор функций для обмена данными, регистрации событий, хранения данных, обеспечения безопасности данных.

На рис. 2.8 показана структура *OPC* взаимодействий в АС.

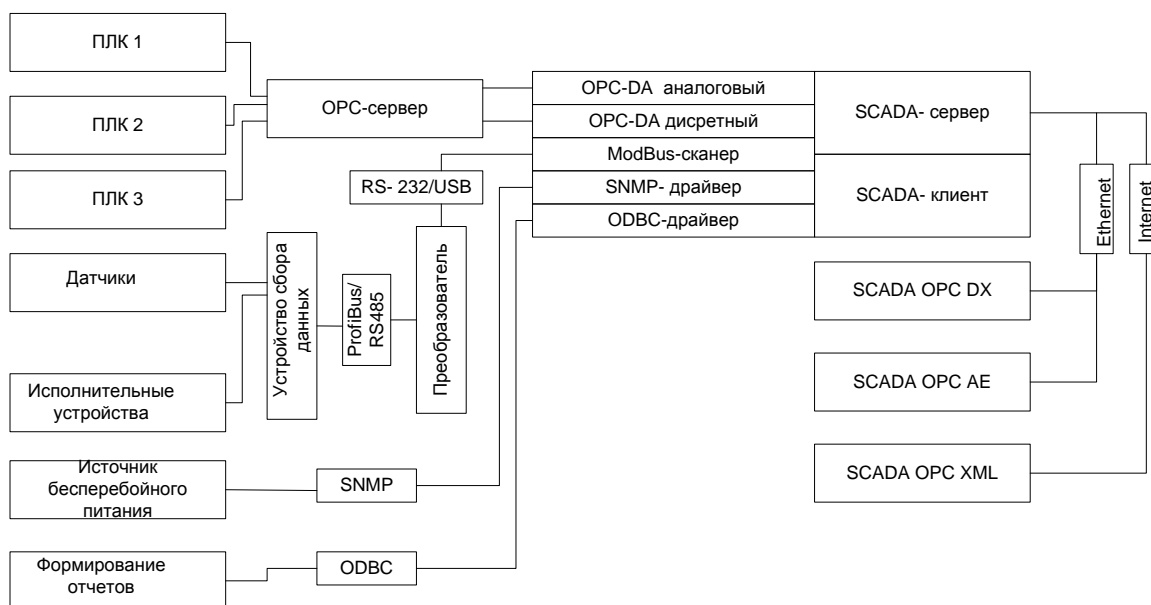


Рис. 2.8. Структура *OPC*-взаимодействий в АС

На этом рисунке показаны:

- три ПЛК, которые связаны посредством *OPC*-сервера со *SCADA*;
- датчики и исполнительные устройства, 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 позволяет контролировать состояние сетей связи АС и управления сетевыми устройствами. В частности, на рисунке показана его роль в случае несанкционированного выключения энергии. Используя *SNMP*, удастся контролировать всю сетевую инфраструктуру АС, управляя электрическим питанием, 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 наследуемыми приложениями и стандартами применяемых СУБД «островной автоматизации». Вот почему необходимо использовать единый стандарт управления базами данных. В начале 90-х гг. существовало несколько поставщиков баз данных, каждый из которых имел собственный интерфейс. Если приложению было необходимо общаться с несколькими источниками данных, то для взаимодействия с каждой из баз данных ИТ-специалисту было необходимо разрабатывать свой код. Для решения этой проблемы *Microsoft* и ряд других компаний создали стандартный интерфейс для получения и отправки источникам данных различных типов.

С помощью *ODBC* прикладные программисты могут разрабатывать приложения для использования единого 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, широко применяемых в АС. Структурированный язык запросов основан на реляционной алгебре множеств. Этот язык манипулирования данными позволяет

описывать условия поиска информации, не задавая для этого последовательность действий, которая была бы нужна для получения ответа при «ручном» поиске. *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 *IT*-стандарты вплоть до полевого уровня. Он поддерживает практически все существующие сети полевого уровня (*PROFIBUS*, *Ethernet*, *AS-I*, *CAN*, *LonWorks* и др.). Все они могут быть интегрированы в *PROFINET* без модификации установленной аппаратуры.

PROFINET базируется на *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*.

Профиль защиты информации в АС обеспечивает 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 клиент-серверных системах в методическом плане 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 *ITU-T*) 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 аппаратной платформы АС связан с определением ее параметров: вычислительной мощности серверов и рабочих станций в соответствии с проектными решениями по разделению функций между клиентами и серверами; степени масштабируемости АС и ее надежности.

Профиль программных инструментальных средств, используемых в АС, должен отражать решения по выбору методологии и технологии создания, сопровождения и развития конкретной АС. Состав инструментальных средств, используемых 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 охватывает функции управления и администрирования, связанные:

- с контролем производительности и корректности функционирования АС 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,

так называемого *SoftPLC*, которое позволяет превратить встраиваемый компьютер в полнофункциональный программируемый контроллер автоматизации, способный решать задачи ПИД-регулирования, обработки ввода/вывода и коммуникаций по различным каналам связи.

Единый центр оперативного управления нефтегазовых производств, 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 технологической, 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 приступать к проектированию ее отдельных компонентов.

Пример описания профиля АС

Используя критерий минимальной стоимости владения (эксплуатации) АС, выбираем в качестве ее системообразующей компоненты *SCADA*-систему *Infinity* на основе ОС *Windows*, реализующую экранные формы управления и наблюдения на дисплее, локальную вычислительную сеть *Ethernet*. Исходя из стратегии последующего развития АС, выбираем состав стандартов и *OPC*-модулей, подобный приведенному на рис. 2.8.

(Далее описываются назначение и функции всех составных частей этой структуры. В проекте не обязательно используются все приведенные на рис. 2.8 компоненты. В этом случае структуру OPC-взаимодействий можно упростить).

Например, пусть в соответствии с установленным техническим заданием профиль прикладного ПО АС включает 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 включает в себя стандарты OPC, Web-адрес которого: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OPC>.

Профиль защиты АС включает в себя стандарты, в частности: X.800 (ITU-T), web-адрес которого: <http://www.ntc-sss.ru/mejdunarodnye-rekomendacii-itu-t--standarty-etsi.html>.

Профиль инструментальных средств АС реализуется на основе стандарта ГОСТ Р МЭК 61131-3, *Programming Languages*; языков программирования ПЛК. Поставщик: <http://www.systec-electronic.com>; web-адрес базового стандарта:

http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_3.

Для программирования ПЛК выбираем *Open PCS*.

В этом разделе должны быть описаны функции автоматизации (см. раздел 2.1 настоящего пособия). Описание должно включать их целевые характеристики. В ПЗ необходимо описать структуру OPC-взаимодействия, выбираемой SCADA, состав ПО АС. Необходимо описать концепцию взаимодействия программных компонентов АС. Результаты занести в таблицу «Ориентировочная номенклатура базовых стандартов и ПО для профиля АС» (прил. 5).

2.4. Выбор структурной схемы АС

Схема структурная – это документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи (ГОСТ 2.701-2008).

Структурные схемы разрабатываются при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и используются для общего ознакомления с изделием (установкой).

Элементами схемы могут быть условные обозначения отдельных технических средств или их групп, объединенных по каким-либо логическим признакам (например, совместному выполнению отдельных или нескольких функций, одинаковому назначению и т.д.).

На схеме отражают информационные (сигнальные) связи между элементами.

В поясняющих надписях могут быть отражены данные сопряжения (ранг сопряжения, вид носителя, код устройства и т.д.).

Структура комплекса технических средств АСУ может быть представлена несколькими схемами, первой из которых является укрупненная схема в целом. Каждый вид структурных схем отражает графически и текстом соответствующий вид обеспечения АС.

Современные АС являются сложными распределёнными системами, управляющими одновременно большим количеством разнородных объектов управления. Такие системы обычно состоят из нескольких уровней. В общем случае структурные схемы описывают следующие уровни АС предприятия: уровень полевой автоматики, контроллерный уровень, уровень человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) диспетчерского управления, уровень управления производством и уровень управления ресурсами предприятия, которые реализуются программно-техническими средствами, как местного, так и районного диспетчерских пунктов. Между отдельными уровнями идёт интенсивный обмен данными. Деление системы на уровни обусловлено не только различными требованиями, предъявляемыми к аппаратной и программной частям, но иерархией бизнес-процессов, связанных с АС.

Объектами управления на полевом уровне 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 в соответствии с отраслевыми нормативными документами устанавливаются 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 (рис. 2.9) [2] на основе сложных алгоритмов.

При управлении процессами нефтегазовой отрасли реализуются как функции стабилизации технологических параметров в режиме с обратной связью (непрерывное управление), так и функции коммуникации и функции диспетчерского управления.

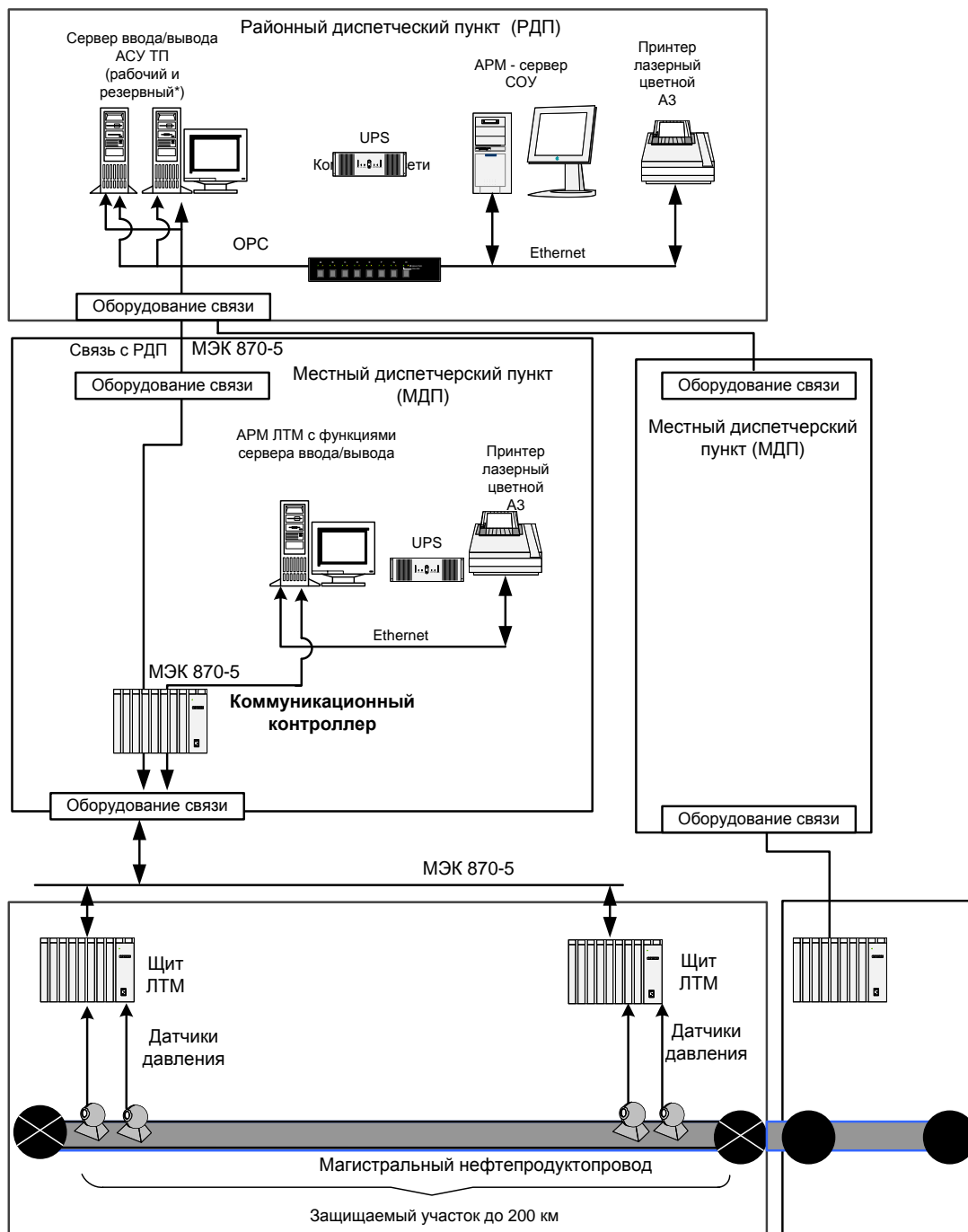


Рис. 2.9. Структурная схема АС

Исходя особенностей объектов автоматизации нефтегазовой отрасли, устанавливаются соответствующие требования к структуре, а также к аппаратным и программным средствам АС, которые реализуются в виде следующих вариантов.

Вариант 1. Управление непрерывными технологическими процессами подготовки нефти и газа, их транспортированием, производственными процессами переработки нефти и газа реализуется с использованием распределенных АС (*DCS*-систем). В таких системах все известные функции автоматизации распределены между различными аппаратными средствами системы управления. Каждый компонент системы узкоспециализирован 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.

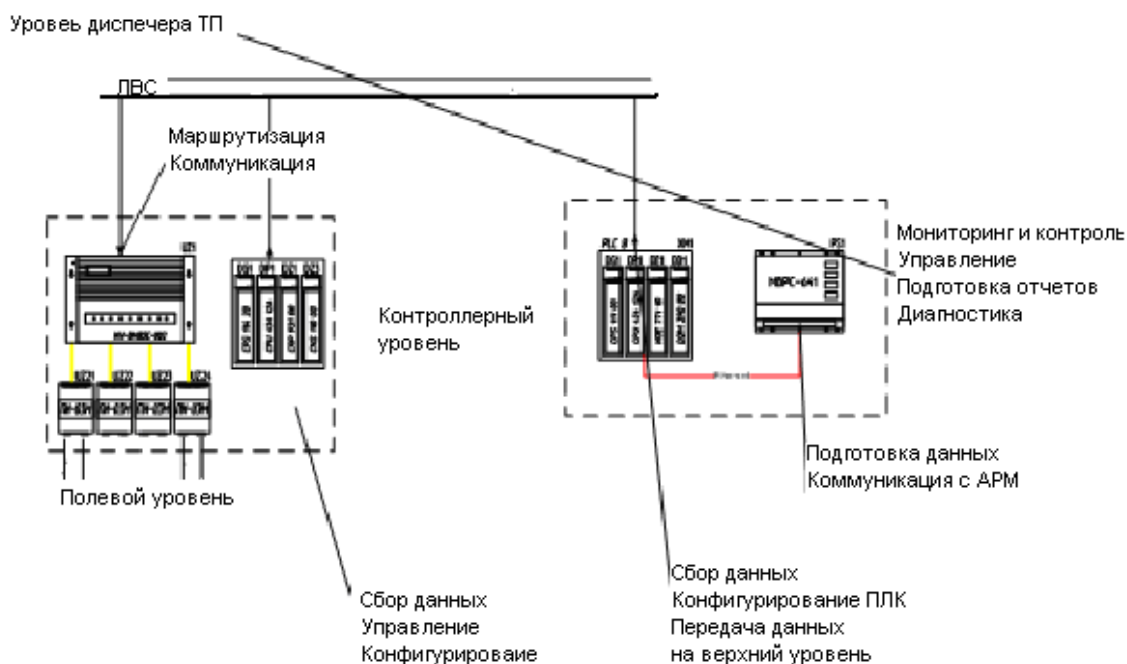


Рис. 2.10. Функции трехуровневой структуры управления

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 централизованным 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 рис. 2.9 и 2.10 представлены структурные схемы комплексов технических средств трехуровневого варианта управления технологическим процессом с различных точек зрения: с точки зрения коммуникационных особенностей; иерархии автоматизированного оборудования и задач, решаемых АС. С использованием уровневой иерархии управления реализуется, как автоматизированное, так и автоматическое управление технологическим процессом. Специфика конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно-аппаратной платформой. В общем случае:

Нижний уровень (полевой) состоит из первичных датчиков (измерительных преобразователей), осуществляющих сбор информации о ходе технологического процесса, приводов и исполнительных устройств, реализующих регулирующие и управляющие воздействия, кабельных соединений, клеммников и нормирующих преобразователей.

Средний уровень (контроллерный) состоит из контроллеров и прочих устройств аналого-цифрового, цифро-аналогового, дискретного, импульсного или иного 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) оптоволокна. В качестве протокола передачи данных для удаленных подключений рекомендуется использовать *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.

Так как 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 (рис. 2.11). Некоторые из них перечислены ниже:

- сбор данных с локальных контроллеров;
- обработка данных, включая масштабирование и проверку достоверности сигнала канала измерения;
- 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 т.ч. 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 решает прикладное программное обеспечение *SCADA*, ориентированное на разработку и поддержание интерфейса между диспетчером/оператором и системой управления, а также на обеспечение взаимодействия с внешним миром.

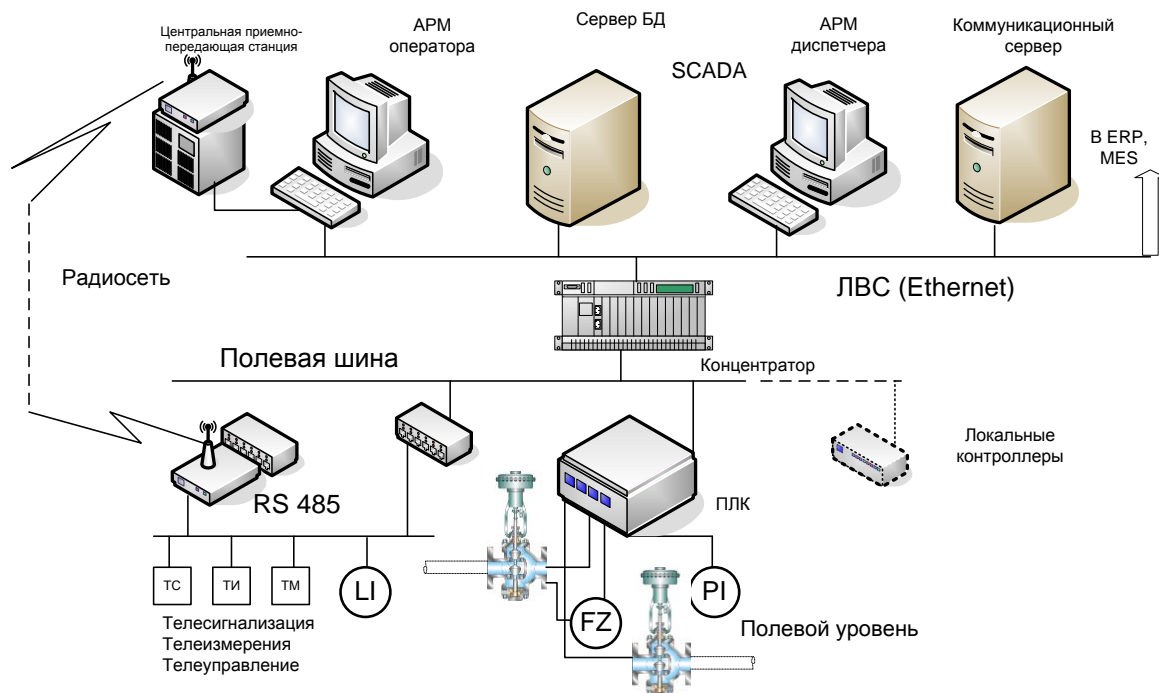


Рис. 2.11. Обобщенная структура системы управления

Все аппаратные средства системы управления объединены между собой каналами связи. На нижнем уровне контроллеры взаимодействуют с датчиками и исполнительными устройствами, а также с модулями 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, сеть, выполненная в соответствии с рекомендациями стандарта *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 (ее можно обозначить как ФЮРА. 425280. 001 ЭС 03, рис. 2.9). На этой схеме 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 или электрический клапан используются аналоговый унифицированный токовый сигнал 4...20 мА.

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 рис. 2.3–2.5. Схемы в альбоме оформить рамкой и штампом (прил. 12) с указанием идентификатора (например, ФЮРА. 425280. 001 ЭС, порядковый номер схемы в альбоме, например, 425280. 001 ЭС 04).

2.5. Разработка схемы автоматизации

Схема автоматизации является инженерным документом проекта, описывающей функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. Схема выполняется либо в соответствии с российскими стандартами, либо зарубежными (если это оговаривается требованием заказчика проекта).

Рекомендации российских стандартов. Схема автоматизации предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании АС, и выполняется согласно рекомендациям ГОСТ Р 21.408-2013 и ГОСТ Р 21.208-2013. Объектами управления в системах автоматизации технологических процессов является как основное, так и вспомогательное оборудование вместе с его арматурной обвязкой.

Схемы автоматизации разрабатывают в целом *на технологическую (инженерную) систему* или ее часть – *технологическую линию, единицу оборудования, установку или агрегат*. Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Схема автоматизированного контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений. В соответствии с ГОСТ Р 21.208 устанавливаются обозначения измеряемых величин, функциональные признаки приборов, линии связи, а также способы и методика построения условных графических обозначений приборов и средств автоматизации.

На схеме автоматизации изображают:

- технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта (далее – технологическое оборудование);

- технические средства автоматизации или контуры контроля, регулирования и управления;

- линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами (при необходимости). Линии связи между приборами и контурами контроля и управления, в т.ч. линии беспроводной связи изображают на схемах условными графическими обозначениями.

Технологическое оборудование на схемах автоматизации рекомендуется изображать в соответствии со схемой соединений, принятой в основном комплекте проектной документации или схемами инженерных систем. При этом допускается упрощать изображения технологического оборудования, не показывая на схеме оборудование, коммуникации и их элементы, которые не оснащаются техническими средствами автоматизации и не влияют на работу систем автоматизации.

Технологическое оборудование изображают с учетом требований следующих стандартов:

- оборудование – по ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.782, ГОСТ 2.788, ГОСТ 2.789, ГОСТ 2.790, ГОСТ 2.791, ГОСТ 2.792, ГОСТ 2.793, ГОСТ 2.794, ГОСТ 2.795;

- трубопроводную запорную арматуру, используемую в системах автоматизации (не регулируемую) – по ГОСТ 2.785.

Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ Р 21.208. Буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов указывают в верхней части условного графического обозначения.

Стандартом допускаются упрощенный и развернутый способы описания схемы автоматизации. При упрощенном способе не показывают первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру. Приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции (контроль, регулирование, сигнализацию и т.п.) и выполненные в виде отдельных блоков, показывают одним условным графическим обозначением. Такой способ прост и менее трудоемок, но не дает представления о месте размещения автоматических устройств (на щитах, пультах, в шкафах). При развернутом способе каждый прибор или блок, входящий, в единый комплект, изображают отдельным графическим обозначением. Сложные приборы, выполняющие несколько функций, разрешается изображать несколькими окружностями, расположенными слитно. Обозначения аппаратуры помещают в нижней части листа.

Развернутый способ построения условных обозначений более полно раскрывает решения по автоматизации, поэтому им пользуются ча-

ще. Для развернутого способа установлены дополнительные буквенные обозначения.

Схемы автоматизации в проекте должны быть выполнены развернутым способом, при котором на схеме изображаются *состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля (сигнализации) и управления (автоматического регулирования)*.

При разработке схемы автоматизации технологического процесса необходимо решить:

- функциональную задачу сбора первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- задачу определения непосредственного воздействия на ТП для управления им и стабилизации технологических параметров процесса;
- задачу сигнализации, мониторинга и регистрации технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования на местном и центральном пультах (щитах) управления.
- задачу автоматического и автоматизированного управления процессом и (или) технологическим объектом.

При разработке схемы автоматизации определяют:

- 1) целесообразный вариант автоматизации технологического процесса на каждом из уровней АС;
- 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 уровней контроля и управления;
- 5) функциональную структуру каждого узла контроля, сигнализации, автоматического и автоматизированного регулирования и управления;

б) технические средства, с помощью которых реализуется тот или иной функциональный узел контроля, сигнализации, автоматического регулирования и управления.

Технологическое оборудование изображают в верхней части схемы.

Условное графическое обозначение приборов, встраиваемых в технологические коммуникации, показывают в разрыве линий изображения коммуникаций, в соответствии с рис. 2.12, *а*, устанавливаемых на технологическом оборудовании (с помощью закладных устройств), которые показывают рядом – в соответствии с рис. 2.12, *б*.



Рис. 2.12. Примеры подключения КИПиА к технологической обвязке: *а* – чувствительное устройство измерения расхода; *б* – чувствительное устройство измерения температуры

Остальные технические средства автоматизации показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках (таблицах), расположенных в нижней части схемы в так называемом «подвале схемы автоматизации». Каждому прямоугольнику этого «подвала» присваивают заголовки, соответствующие размещениям технических средств.

Первым располагают прямоугольник, в котором показаны полевые приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже – прямоугольники, в которых показаны «Щиты и пульты», а также, при необходимости, комплексы контроллерных (компьютерных) средств, (рис. 2.13, прил. 7).

В нижнем прямоугольнике показывают функционал автоматизации, реализуемый на диспетчерском уровне.

Заголовки прямоугольников, предназначенных для изображения щитов и пультов, принимают в соответствии с их наименованиями, принятыми в эскизных чертежах общих видов: для комплексов контроллерно-компьютерных технических средств – в соответствии с их записью в спецификации оборудования, изделий и материалов.

На схеме автоматизации условные графические обозначения отдельных КИПиА присваиваются в соответствии с рекомендациями стандарта ГОСТ 21.208, а их позиционное положение в виде буквенно-цифрового обозначения указывается в нижней части окружности (квад-

рата, прямоугольника) или с правой стороны от него, а обозначения электрических переменных (I , U , W и др.) электроаппаратов указываются справа от их условного графического обозначения.

При этом позиционным значениям КИПиА присваивают номерной идентификатор по спецификации оборудования, изделий и материалов, которое составляют из цифрового обозначения соответствующего контура и буквенного обозначения (прописными буквами) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала).

При большом количестве приборов допускается применять обозначения, в которых первый знак соответствует условному обозначению измеряемой величины, последующие знаки – порядковому номеру контура в пределах измеряемой величины.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, электродвигатели и др.) показывают на схеме графическими условными обозначениями по ГОСТ 2.722, ГОСТ 2.732, ГОСТ 2.741 и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710.

Линии связи в проекте рекомендуется изображать с разрывом между технологическим оборудованием и прямоугольником «Приборы местные». Места разрывов линий связи нумеруют арабскими цифрами в порядке их расположения в прямоугольнике с заголовком «Приборы местные».

Допускается пересечение линий связи с изображениями технологического оборудования. Пересечение линий связи с обозначениями приборов не допускается.

На линиях связи указывают предельные (максимальные или минимальные) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин по ГОСТ 8.417 или в единицах шкалы выбираемого прибора. Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения величин указывают рядом с обозначением приборов.

Графическое построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в системе.

Рекомендуемым способом построения системы наименований приборов и устройств 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.

Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы *H*.

Первая буква Y показывает состояние или событие, которое определяет реакцию устройства.

Символ S применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины *F*, *P*, *T* и указывает на самосрабатывающие устройства безопасности – предохранительный или отсечной клапан, термореле. Символ *S* не должен использоваться для обозначения устройств, входящих в систему инструментальной безопасности – ПАЗ.

Символ Z применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины для устройств инструментальной системы безопасности – ПАЗ.

В соответствии с новыми требованиями ГОСТ Р 21.208 и ГОСТ Р 21.408, которые в большой степени гармонизированы с международными стандартами, устанавливаются следующие функциональные признаки приборов:

Букву *A* применяют для обозначения функции «сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.

Букву *K* применяют для обозначения станции управления, имеющей переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления.

Букву *E* применяют для обозначения чувствительного элемента, выполняющего функцию первичного преобразования: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, датчики пирометров, сужающие устройства расходомеров и т.п.

Букву *S* применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.

При применении контактного устройства прибора для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы: *S* и *A*.

Букву *T* применяют для обозначения первичного прибора бесшкального с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические термометры.

Букву *Y* применяют для обозначения вспомогательного устройства, обеспечивающего функции преобразования (например, токового сигнала в псевдобитический) или функции вычислительного устройства.

Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляется включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается

конкретизировать добавлением букв *H* и *L*. Комбинацию букв *HH* и *LL* используют для указания аварийных событий. Буквы наносят справа от графического обозначения.

Функция [*D*] при объединении с функцией [*A*] (тревога) указывает, что измеренная переменная отклонилась от задания или другой контрольной точки больше, чем на predetermined количество.

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используют в данной схеме.

При необходимости конкретизации измеряемой величины справа от графического обозначения прибора допускается указывать наименование, символ этой величины или ее величину: для измеряемой величины рядом с символом *A* указывают тип анализатора, обозначение анализируемой величины и интервал величины измеряемого параметра.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

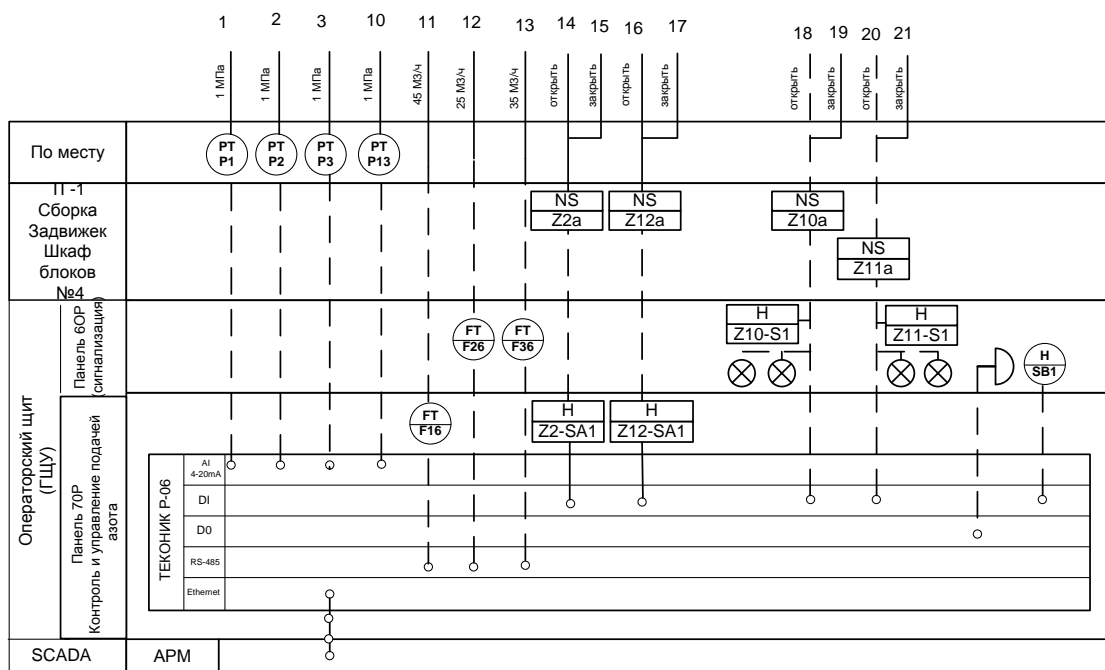


Рис. 2.13. Пример «подвала»,
разнесенного варианта функциональной схемы

При построении обозначений комплектов средств автоматизации первая буква в обозначении каждого входящего в комплект прибора или устройства (кроме устройств ручного управления и параметра «событие, состояние») является обозначением измеряемой комплектом величины.

Для лучшего понимания схем АС с использованием ПЛК в ГОСТ Р 21.408 предлагается вариант табличного «подвала» схемы автоматизации с указанием модулей ввода/вывода сигналов (рис. 2.13).

На схеме АС, выполненной согласно рекомендациям ГОСТ 21.408 (рис. 2.14), показаны:

- блок КИПиА полевого уровня автоматизации по месту установки;
- блок КИПиА уровня шкафа автоматизации на полевом уровне;
- блок КИПиА уровня щита автоматизации;
- контроллер сбора и управления АС;
- блок диспетчерской станции;
- канал преобразования информации чувствительного элемента 7.1 в унифицированный сигнал 7.2;
- канал преобразования управляющего сигнала 7.3 в управляющее воздействие на исполнительный орган (клапан) 8 и с возможностью управления им как посредством *регулятора*, расположенного в контроллере, так и с операторного щита 7.5, индикацией положения ключа 7.6 и использованием ключа переключения 7.7 из ручного режима в дистанционный;
- канал сигнализации 7.4 со световыми сигналами предупреждения верхнего/нижнего *HLL/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 управление (*H*). Контур управления замыкается исполнительным устройством (8). На экранах диспетчерского уровня осуществляется мониторинг, управление и конфигурирование АС.

Сплошными линиями связи показываются арматурные (аппаратные) соединения, а штриховыми – электрические (поз. 7.1 и 7.2 на рис. 2.14 показаны конструктивным объединением чувствительного устройства и преобразователя в электрический сигнал в одном измерительном устройстве). Связь контроллера *LC* с диспетчерским уровнем осуществляется посредством цифрового канала (канал показан в виде перфорированной связи).

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

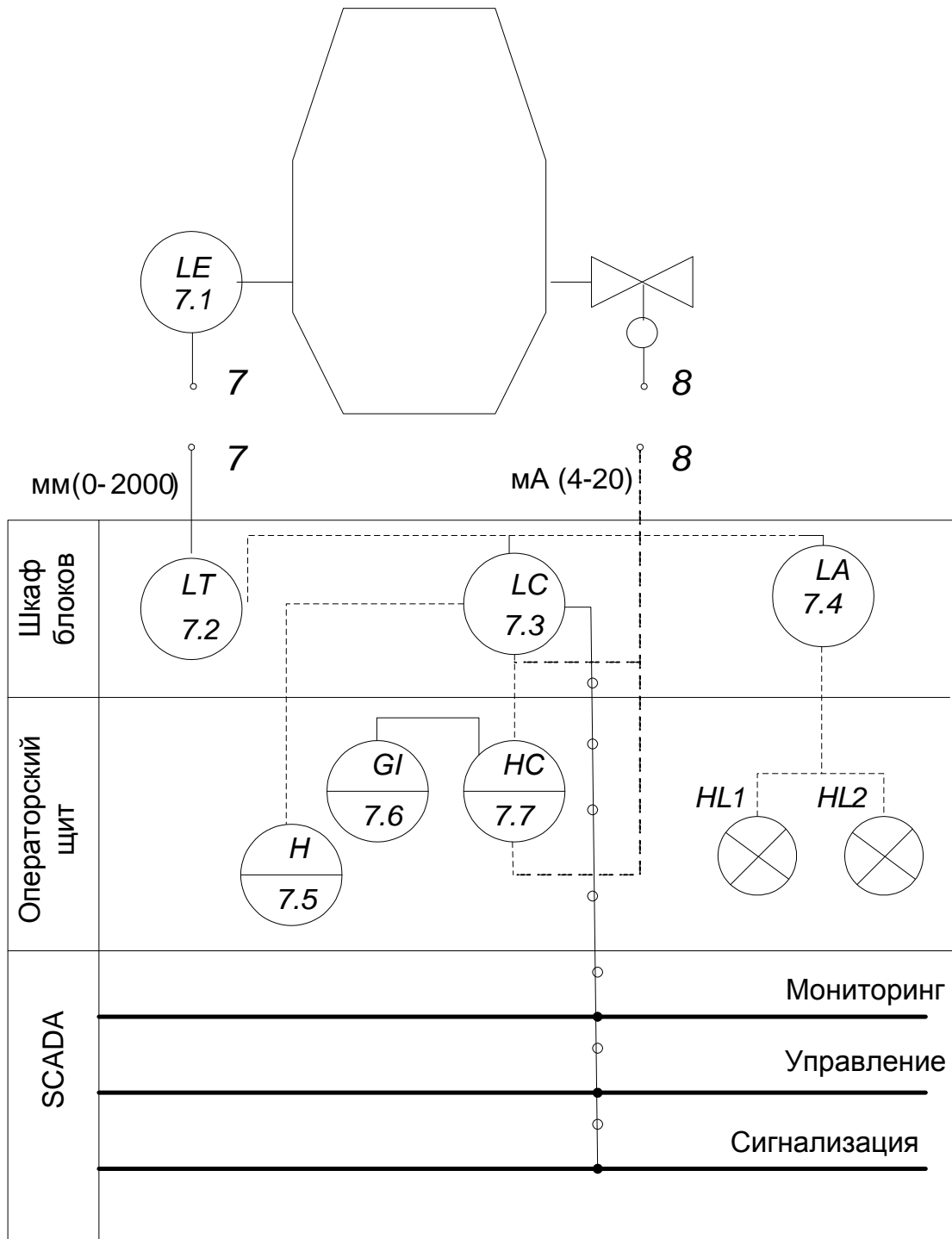


Рис. 2.14. Пример функциональной схемы автоматизации по ГОСТ

Рекомендации зарубежных, международных стандартов. Схемы автоматизации в зарубежной проектной документации носят название Piping & Instrumentation Drawing, или Process & Instrumentation Diagram (P&ID). Нормативными документами являются:

1. ANSI/ISA-S5.1-2009, *Instrumentation Symbols and Identification* (Американский стандарт), ASME Y 14.40.(0-15).

2. ISO 14617.

3. BS EN 62424-2009 *Representation of process control engineering – Requests in P&I diagrams and data* (Европейский стандарт).

4. DIN-стандарты 19227-1-1993 и 19227-2-1991, установленные немецким Институтом для Стандартизации. (*Graphical Symbols and Identifying Letters for Process Control Engineering, DIN 19227: 1993, German institute for standardisation, Berlin*).

5. PIP стандарт (PIC001–2008 (2012) (*Piping and Instrumentation Diagram, Documentation Criteria, PIP PIC001:2008, Process Industry Practices, Austin*), разработанные ассоциацией перерабатывающей промышленности.

Схемы *P&ID*, выполненные в соответствии с рекомендациями международных стандартов:

1) обеспечивают иллюстрационную и позиционную информацию всего автоматизированного оборудования, трубопроводов и приборов всем специалистам, работникам, которые хотят понять процесс;

2) являются средством, с использованием которого инженеры могут проводить убедительный анализ опасностей процесса и обнаруживать проектные ошибки;

3) являются основным справочным документом описания процесса, операционного обеспечения и описывают обслуживание средствами автоматизации.

ФСА могут быть использованы как проектные указания, на основе которых могут быть запланированы мероприятия по улучшению безопасности и повышению эффективности ТП.

Пример выполнения схемы автоматизации в соответствии с требованиями ANSI S 5.1 приведен на рис. 2.15. Этот рисунок поясняет соответствие схемы автоматизации схеме управляемого технологического процесса, показанного в верхней части рисунка.

Здесь цифровая связь показана в виде перфорированного соединения (например, *FC_231 – FV_231*). Измерители расхода *FT* выполнены на основе использования сужающего устройства. Буква *V* на исполнительном устройстве *FV* указывает на позиционное управление им. *FC* и *PC* с вписанной в квадрат окружностью указывает на контроллерную обработку измерений и последующее ПИД – регулирование подачей потока в реактор. Структура *CAP* на основе *FC* и *PC* относится к классу каскадного автоматического регулирования подачей потока *F* на основе алгоритмов регулирования во внутреннем контуре *FC* и внешнем контуре *PC* (основной задачей каскадного регулирования на этой схеме является поддержание заданного давления в реакторе). *FIR*

и *TIR* с вписанной в квадрат окружностью с разделительной линией указывают на компьютерное управление на основе экранных форм *SCADA*.

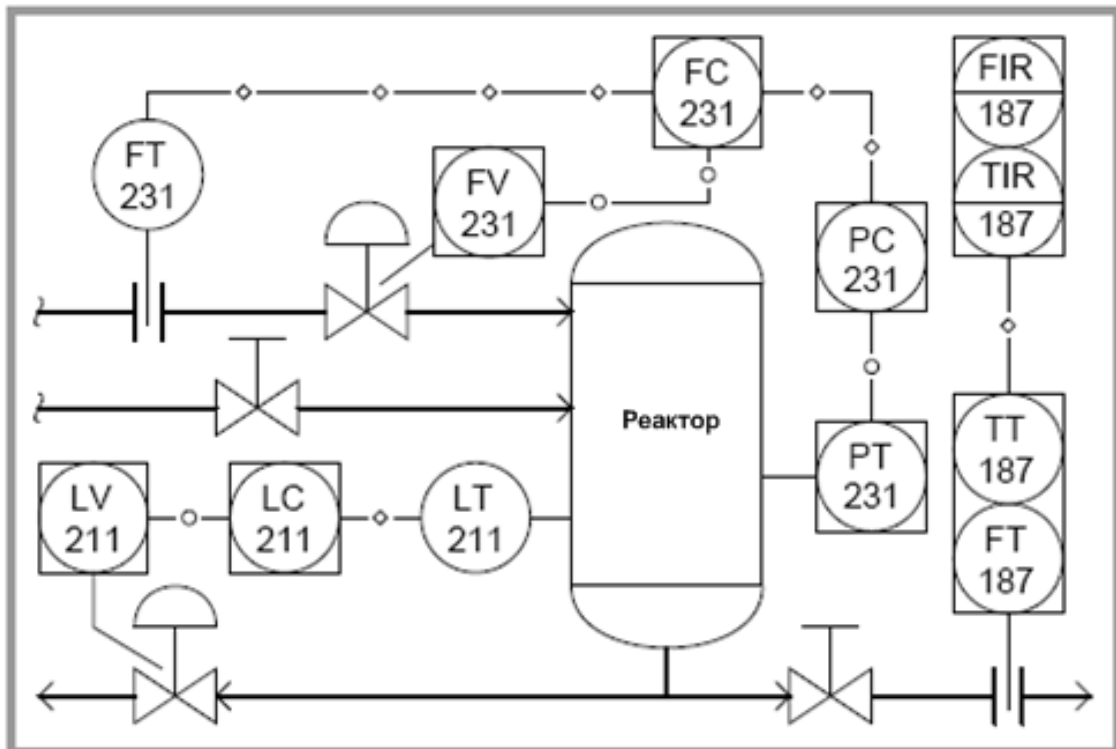
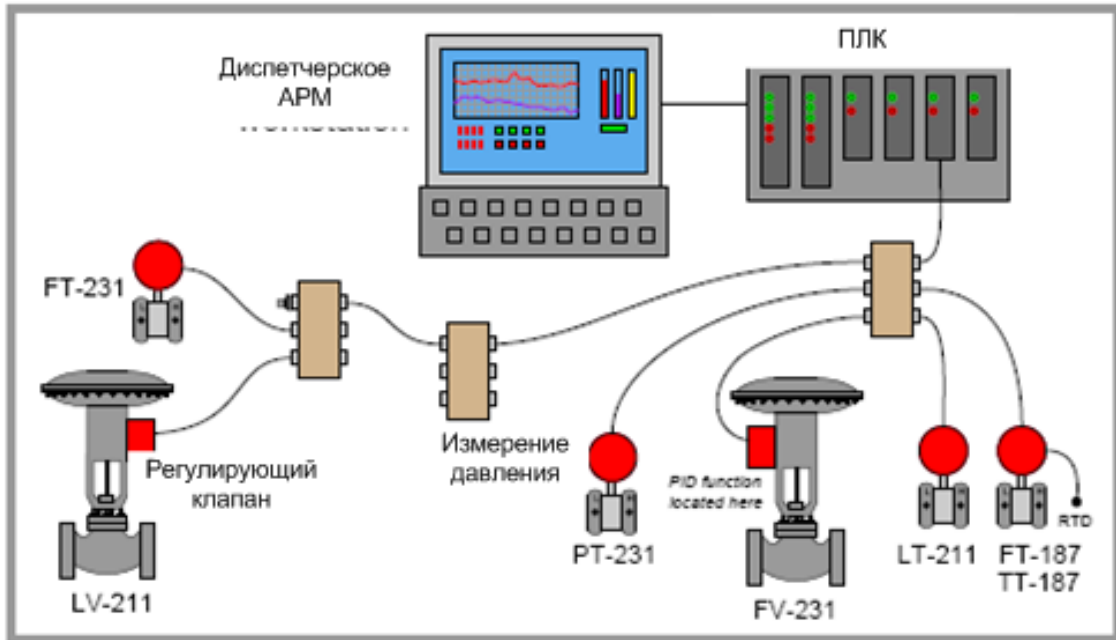


Рис. 2.15. Схема автоматизации, выполненная по рекомендациям стандарта *ANSI*

Примером применения ANSI-стандарта для описания событийности в АС является схема КИПиА, приведенная на рис. 2.16.

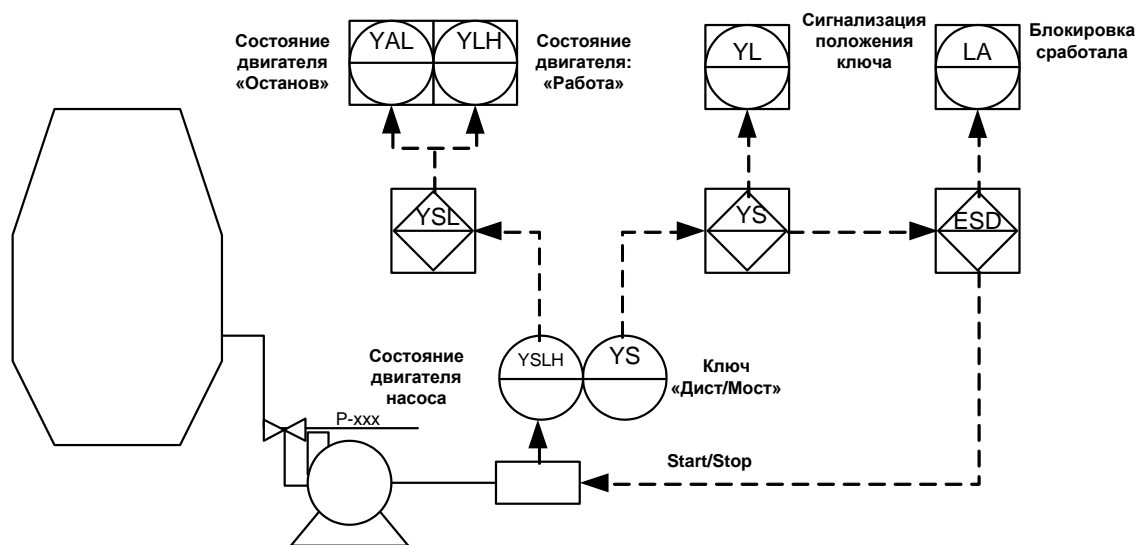


Рис. 2.16. Пример функциональной схемы автоматизации по ANSI

Здесь можно выделить 3 уровня событийности сигнализации АС:

- 1) верхний уровень – это событийность в работе двигателя насоса, уровня сигнализации щитовых приборов – *YSLH* и *YS*;
- 2) событийность уровня логики блокировок вторая буква *S*;
- 3) событийность нижнего (полевого) уровня – сигнализации состояния исполнительных и командных элементов системы автоматизации.

Блок защиты и управления электродвигателем (*ESD*, аварийный останов) обеспечивает:

- мягкий пуск двигателя;
- реверс двигателя;
- торможение с заданным током в течение заданного времени;
- ограничение токов при пуске, движении и торможении;
- управление по дискретным сигналам, по последовательному интерфейсу, с местного поста управления;
- отключение нагрузки при коротком замыкании;
- отключение по таймеру;
- проверка наличия фаз электродвигателя через заданные промежутки времени и выдача предупреждений в остановленном состоянии;
- определение изменения чередования фаз при включении блока и выдача предупреждений;

- определение провала одной из фаз сети ниже установленного уровня и выдача предупреждения;

- регулирование угла открытия тиристорov с помощью сигнала аналогового входа.

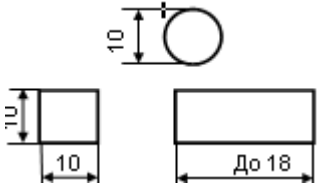

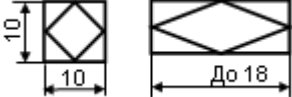

Состояние насоса фиксируется щитовым прибором *YSLH*. По сигналу этого прибора формируется логика блокировок *YSL YSH*, которая отражается затем предупредительной сигнализацией *останова YAL* и сигнализацией *работа YLH*.

По состоянию щитового ключа *YS* формируется логика включения двигателя, которая отражается сигнализацией *YL*.

По состоянию ключа *YS* дистанционно включается формирователь сигнала *ESD*, что подтверждается индикацией «Блокировка сработала» *LA*. Связь с первичными и вторичными приборами показана прерывистой линией. Прерывистая линия обычно указывает на электрическую линию связи. Размеры условных графических обозначений приборов и средств автоматизации в схемах приведены в табл. 2.3.

Условные графические обозначения на схемах выполняют по ГОСТ 2.303 сплошной толстой основной линией, а горизонтальную разделительную черту внутри графического обозначения и линии связи – сплошной тонкой линией.

Таблица 2.3

Наименование	Обозначение
1. Прибор, аппарат: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение	
2. Функциональные блоки цифровой техники (контроллер, системный блок, устройство сопряжения и др.)	 <p>Размеры по усмотрению разработчика, применительно к удобству оформления схемы</p>
3. Прибор (устройство, входящее в контур) ПАЗ	
4. Исполнительный механизм	

При определении границ контура регулирования/сигнализации для каждой пронумерованной функциональной группы КИПиА 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 (например, *L*-группу на рис. 2.15). В случае использования регулятора соотношения для обозначения контура автоматизации присваивается наименование переменной, 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 в ПЗ курсового проекта.

Функциональная схема АС (наименование объекта управления по заданию) выполнена согласно требованиям ГОСТ Р 21.408-2013 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 (прил. 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.; *A (AI)*, *D (DI, DO)* – аналоговые или дискретные входные, или выходные сигналы. Общее число аналоговых сигналов – 3 и т.д. Пределы измерения (указать пределы) и т.д.

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 21.4082013 и *ANSI/ISA S5.1*, и их описание. Обе схемы поместить в альбом. Пример выполнения функциональной схемы автоматизации по ГОСТ Р 21.408-2013 приведен в прил. 7 по *ANSI* в прил. 8.

Контролю должны подлежать, прежде всего, те параметры, наблюдение которых облегчает пуск, наладку и эксплуатацию (управление) технологического процесса. Описание функциональной схемы автоматизации (не путать с таблицей сигналов ТП) должно завершиться разработкой таблицы состава (перечня) входных/выходных сигналов АС (измерительных, сигнальных, командных и управляющих), прил. 4.

2.6. Разработка схемы информационных потоков АС

В соответствии с РД 50-34.698-90 документ информационного обеспечения ПЗ проекта содержит разделы:

- состав информационного обеспечения;
- организация информационного обеспечения;
- организация сбора и передачи информации;
- построение системы классификации и кодирования;
- организация внутримашинной информационной базы;
- организация внешнемашинной информационной базы.

В разделе «Состав информационного обеспечения» указывают наименование и назначение всех баз данных и наборов данных АС.

В разделе «Организация информационного обеспечения» приводят:

- принципы организации информационного обеспечения АС;
- обоснование выбора носителей данных и принципы распределения информации по типам носителей;
- описание принятых видов и методов контроля в маршрутах обработки данных при создании и функционировании внешнемашинной и внутримашинной информационных баз с указанием требований, на соответствие которым проводят контроль;
- описание решений, обеспечивающих информационную совместимость АС с другими системами управления по источникам, потребителям информации, по сопряжению применяемых классификаторов (при необходимости), по использованию в АС унифицированных систем документации.

-

В разделе «Организация сбора и передачи информации» приводят:

- перечень источников и носителей информации с указанием оценки интенсивности и объема потоков информации;
- описание общих требований к организации сбора, передачи, контроля и корректировки информации.

В разделе «Построение системы классификации и кодирования» приводят:

- описание принятых для применения в АС классификации объектов во вновь разработанных классификаторах и в тех действующих классификаторах, из которых используется часть кода;
- методы кодирования объектов классификации во вновь разработанных классификаторах.

В разделе «Организация внутримашинной информационной базы» приводят описание принципов построения внутримашинной информационной базы, характеристики ее состава и объема; описание структуры внутримашинной информационной базы на уровне баз данных с описанием характера взаимосвязей баз данных и указанием функций АС, при реализации которых используют каждую базу данных, характеристики данных, содержащихся в каждой базе данных.

В разделе «Организация немашинной информационной базы» приводят характеристики состава и объема немашинной информационной базы, принципы ее построения, в т.ч. основные положения по организации и обслуживанию фонда нормативно-справочной информации во взаимосвязи с автоматизированными функциями.

В приложениях к документу «Описание информационного обеспечения системы» следует приводить справочные и другие дополнительные материалы, и сведения (систематизированный перечень наименований структурных единиц информации с присвоенными им обозначениями и описаниями их сущности).

Схема преобразования информационных носителей сигналов в аналоговом канале АС показана на рис. 2.17.

На рис. 2.18 показана взаимосвязь информационного обеспечения различных частей АС с использованием сигналов 4...20 мА на полевом, *Modbus* на коммуникационном и ОРС на диспетчерском уровнях.

Схема информационных потоков в АС в проектной документации может быть представлена в виде, показанном на рис. 2.19.

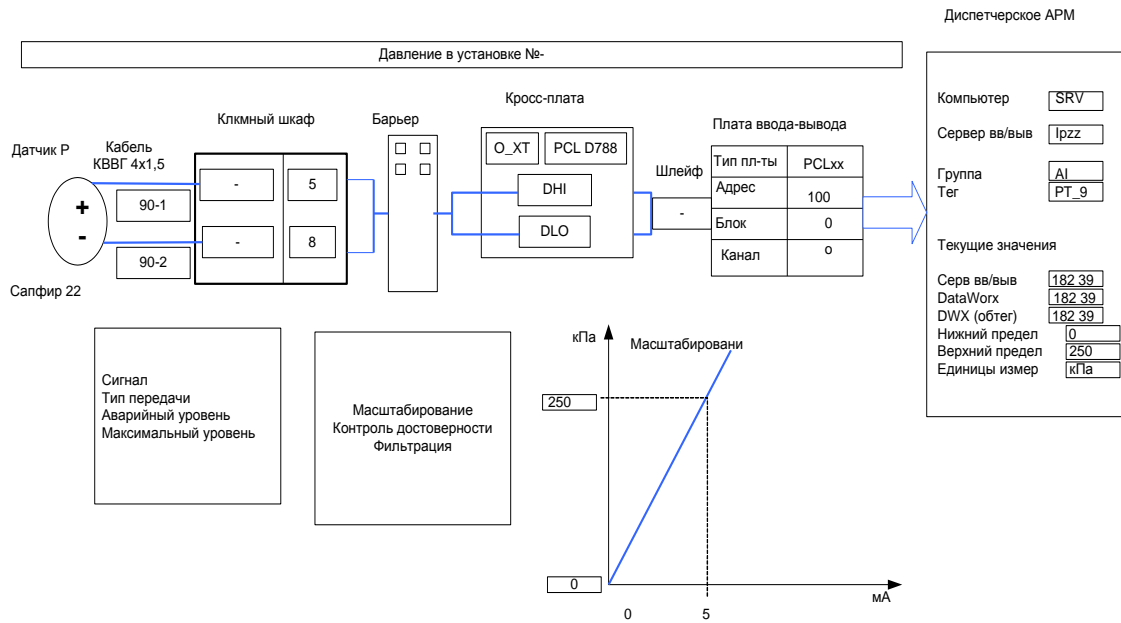


Рис. 2.17. Схема информационного потока канала измерения SCADA

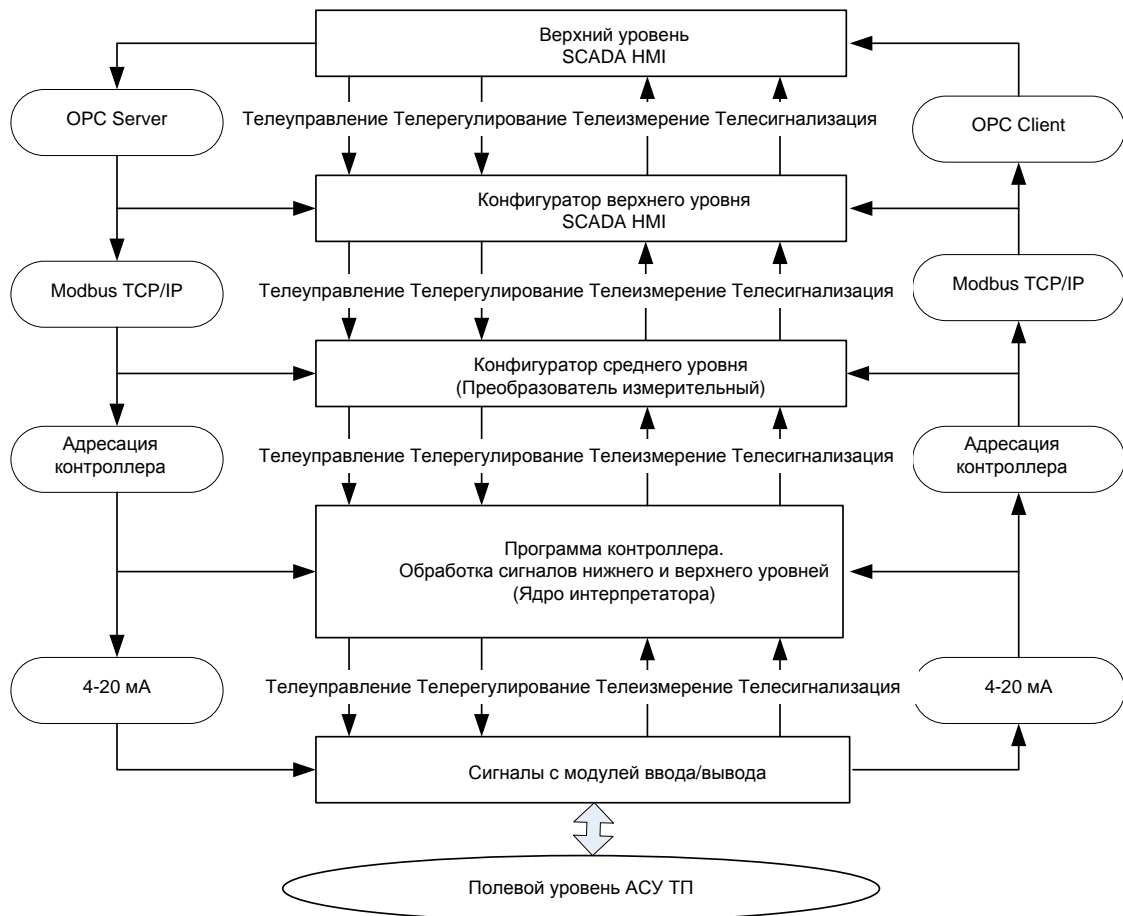


Рис. 2.18. Взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС

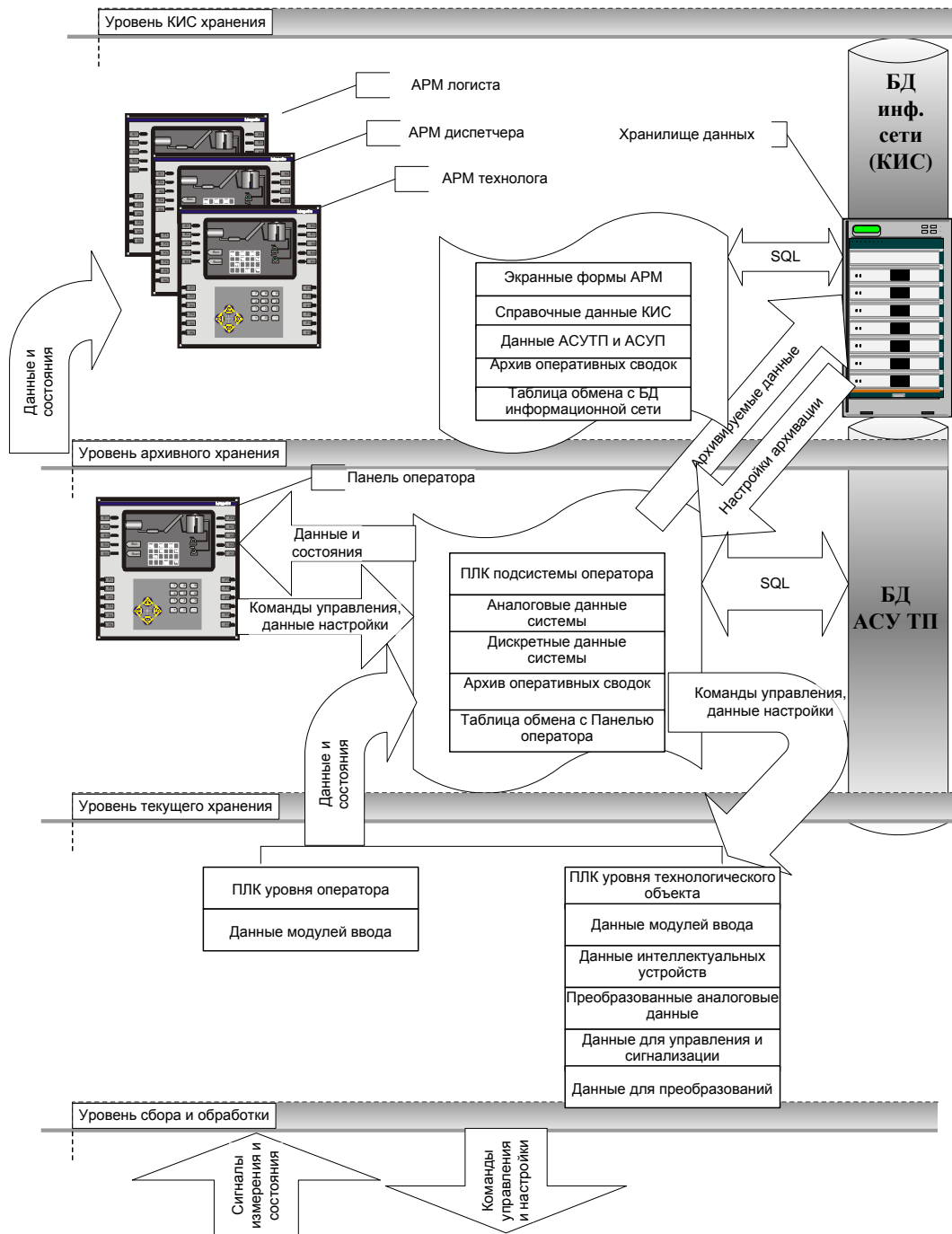


Рис. 2.19. Схема информационных потоков в АС

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.).

Подсистема истории 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.

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 база данных (БД) процесса придает однородность и структурированность хранимых данных.

Концептуальная БД для АС должна содержать структуру сущностей для обработки следующей информации:

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

Например, пусть контролируется «Температура на трубопроводе № 1»; его измеряет термопара типа ХК; термопару опрашивает промышленный контроллер ПЛК, который, в свою очередь, опрашивается компьютером, на котором установлена Программа с именем «Программа № 1».

Для описания БД такой АС следует задать сущности:

Параметр контроля с атрибутами: Наименование, Адрес параметра, Текущее значение, Минимум установленного ТУ параметра, Максимум установленного ТУ параметра, Событийность, Единица измерения, Период опроса.

Датчик с атрибутами: Наименование (тег), Тип, Минимум шкалы измерения датчика, Максимум шкалы, Опрашивающий контроллер.

Контроллер с атрибутами: IP-адрес, Наименование программы регулирования, Наименование программы ввода данных, Наименование программы вывода данных, Наименование алгоритма обработки данных.

Компьютер с атрибутами: IP-адрес, Дата, Время, Управление, Мониторинг, Конфигурирование, Регистрация.

Программа АРМ с атрибутами: Наименование, Наименование экранной формы, Внутренний тег, Тег сигнала и управлений полевого уровня.

Для регуляризации этой информации в БД используются таблицы и поля записи.

БД является основой любой SCADA-системы и состоит из различного количества (от 100 до сотен тысяч тегов).

Тег (*tag* – точка) – единица информации в БД. Она имеет уникальное имя и ряд свойств, зависящих от его типа. Свое значение тег получает следующими способами:

1) от реально подключенного к системе датчика или другого устройства сбора информации (например, аналоговый или дискретный вход программного контроллера);

2) из другого приложения (например, с использованием OPC-технологии);

3) от пользователя при изменении им заданий для экранных регуляторов или переключателей;

4) расчетным путем. При этом тег будет являться выходом стандартного блока обработки данных (например, ПИД-регулятор) или пользовательской программы.

В случаях 1–3, т.е. когда тег связан с входным устройством или динамически изменяется в соответствии с данными других приложений, он называется сканируемым, или внешним, тегом. Программы-сканеры осуществляют опрос устройств нижнего уровня и обмен с приложениями.

В случае 4 тег называется несканируемым, или внутренним.

Сканируемые теги обычно объединяются в группы, реально соответствующие их физическому подключению к устройствам нижнего уровня. В полном наименовании тега обязательно присутствует название PCU, PLC (программируемый контроллер или др.), входом/выходом которого является этот тег.

Если значение тега может быть изменено оператором с использованием экранных средств управления, такой тег называется управляемым.

В противном случае тег – неуправляемый (пример: входной сигнал с датчика).

Наиболее распространенные типы тегов БД АС:

- аналоговый;
- тревога (*alarm*);
- статусный (дискретный);
- строковый;
- счетчик-накопитель;
- резервуар.

Аналоговые теги. Основные атрибуты:

1. *Имя.* Уникальный идентификатор тега, по которому производится обращение к тегу из экранных форм, драйверов ввода/вывода и др. различных процессов.

2. *Описание.* Необходимо для пользователя и позволяет ему не забыть, с чем конкретно связан тег.

3. *Адрес в PCU* или *PLC* (программируемом контроллере) или указание на то, что точка является внутренней.

4. *Текущее значение.*

5. *Единица измерения* в технических единицах.

6. *Тип преобразования:*

а) непосредственная запись в БД;

б) линейная экстраполяция осуществляется по формуле

$$E = (E_{\max} - E_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min}) \cdot (R - R_{\min}) + E_{\min} ,$$

где E – технические единицы;

R – исходное значение, текущее;

E_{\min} – минимальное значение в технических единицах;

E_{\max} – максимальное значение в технических единицах;

R_{\min} – минимальное исходное значение;

R_{\max} – максимальное исходное значение.

Например, преобразование токового сигнала 4...20 мА в величину уровня жидкости 0...10 м при заданных максимальных и минимальных значениях в исходных и технических единицах осуществляется автоматически;

в) квадратичное преобразование:

$$E = \sqrt{\frac{R - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}} \cdot (E_{\max} - E_{\min}) + E_{\min} .$$

7. *Тревога (аларм)* – это событие, происходящее при выходе тега за уровень сигнализации или нарушении характеристик процесса. Выход тега за уровень сигнализации называется пороговой тревогой.

Различают алармы двух типов: дискретные и аналоговые.

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

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

- верхние пределы (*H/предаварийный* и *HH/аварийный*);
- нижние пределы (*L/предаварийный* и *LL/аварийный*);
- отклонение от заданного значения;
- скорость изменения параметра.

Стандартные уровни пороговых тревог:

- *H (High)* – верхний предел;
- *HH (High/High)* – верхний/верхний;
- *L (Low)* – нижний предел;
- *LL (Low/Low)* – нижний/нижний.

Каждый уровень тревоги определяется своим значением и цветом.

Пределы типа *High* и *Low* используются для предупредительной сигнализации и обозначаются желтым цветом.

Пределы типа *High/High* и *Low/Low* для аварийной сигнализации обозначаются красным цветом.

В первой колонке табл. 2.4 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 (13_аi_T_01). Это может означать: 13 КНС аналоговый канал, *T* – тип измерения, 01 – 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.

Таблица 2.4

**Пример таблицы и полей записей
источника информации АС**

Имя поля	Значение	Комментарий
code	T_01 (ДДД)	Код канала
description	Primary circuit Temp.in	Описание (первичная цепь, входная температура)
type	AI	Тип: аналоговый сигнал
address	13_AI_T_01 (AAA_BBB_CCC_ДДД)	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

Для расчета коэффициента преобразования (масштабирования) 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 4 096 бит, то коэффициент пересчета будет равен $100/4\ 096 = 0,0244$ °С/бит.

Статусные (или дискретные) теги. Это теги, связанные с точками цифрового ввода/вывода. Представляют собой два или четыре бита состояния (например, включено/выключено, неисправный, открыт/закрыт, подача).

Основные атрибуты статусных тегов:

1–4. *Как для аналогового тега.*

5. *Число битов состояния* – соответственно 1 или 2.

6. *Описание состояний и цвета.* Нормальное состояние. Указывается бит, который по умолчанию считается нормальным.

7. *Класс тревоги:*

- нет тревоги;
- событие;
- простая тревога;
- неотложная тревога;
- критическая тревога.

При переходе статусного тега из нормального состояния в любое другое будет обрабатываться последовательность действий (управление), заданная для указанного типа тревоги.

8. *Тип управления:*

- нет управления;
- мгновенный вывод;
- фиксация результата в БД.

9. *Таймер тайм-аута* – это время ожидания достижения точкой контролируемого состояния.

Строковые теги. Обычно являются константами БД и служат для выдачи текстовых сообщений, иногда могут принимать форму переменного текста и служат для отображения состояния аналоговых тегов.

Счетчики-накопители. Используются для слежения и сообщений о любых измерениях накопительного типа или для величин, которые могут быть выражены как целые. Обычно связаны с реальными модулями счетчиков программируемых контроллеров.

Основные характеристики счетчиков-накопителей:

1–4. *Как для аналогового тега.*

5. *Единица измерения накапливаемого значения.*

6. *Информационные поля – накопленные значения:*

- а) текущее брутто;
- б) текущее нетто;
- в) годовое;
- г) месячное;
- д) суточное;
- е) вчерашнее;
- ж) часовое.

7. *Фактор* – десятичное значение, представляющее собой поправочный коэффициент, на который обычно при вычислениях умножаются показания реальных счетчиков (текущее брутто).

8. *Количество единиц на импульс* – десятичная величина, которая показывает количество продуктов в исходных единицах, которое должно пройти через модуль-счетчик контроллера, чтобы он сгенерировал один импульс. Используется при расчетах.

9. *Свертка* – величина, при достижении которой счетчик обнуляется. Используется для синхронизации данных с модулями счетчиков – контроллеров.

10. *Тип обработки данных* – способ вычисления информационных полей значений счетчика.

Резервуар (емкость). Точки типа *резервуар* предназначены для работы с устройствами, измеряющими объем, уровень или другие характеристики материала в емкости.

Основные атрибуты резервуаров:

1–4. *Как у аналоговых тегов*.

5. *Тип преобразования уровня*:

- без преобразования;
- стандартные пользовательские или калибровочные таблицы (КТ).

Калибровочные таблицы используются для вычисления объема продукта, основываясь на данных об уровне. Они могут быть линейными и нелинейными. Применяются там, где емкость имеет неправильную геометрическую форму.

6. *Максимальный уровень продукта в емкости*. Максимальный объем продукта. Превышение уровня, определяемое этой характеристикой, вызывает автоматическую генерацию тревоги.

Кодировка, справочное обозначение каналов измерения и управления должно:

- идентифицировать канал;
- обеспечить информацию относительно класса, к которому этот объект относится;
- предоставить сведения о том, где этот канал располагается в структуре АС.

Основные требования к кодировке – это:

1. Принцип унификации и универсальности. Это единое обозначение всех типов КИПиА, места их установки и расположения и единое обозначение при проектировании, сооружении, эксплуатации, техническом обслуживании и снятии с эксплуатации.

2. Принцип уникальности. Система не должна допускать двух или более одинаковых идентификаторов в одном проекте.

3. Принцип полноты информации в идентификаторе. Кодировка должна обладать достаточной емкостью и возможностью детализации обозначений всех систем, агрегатов, зданий, сооружений и территорий.

4. Код должен указывать принадлежность канала измерения и управления к технологической площадке, блоку, определенной системе, классу оборудования, иерархии расположения и т.д.

5. Возможность расширения для обозначения новых технологий.

6. Однозначность толкования правил формирования кода.

7. Учет имеющихся национальных и международных норм и стандартов, независимость языка кодирования от национального языка с целью обеспечения международного применения (только латиница).

8. Возможность применения машинной обработки данных, т.е. удовлетворять стандартам ИТ-технологий.

В настоящее время в АС при маркировке оборудования, технических и программных средств используются разнообразные принципы кодировки. В связи с широким внедрением в организационную деятельность и технологические процессы автоматизированных процедур (учета, управления, сбора и обработки информации и т.д.), построенных с применением баз данных, реализованные способы кодировки значительно затрудняют автоматизацию из-за невозможности прямого использования существующих маркировок в программах управления базами данных с использованием тегов.

Для устранения этого недостатка следует применять систематизированную систему маркировки, в которой наиболее полно учитываются характерные признаки кодируемого оборудования и средств, используемых в АС.

Для этого используют кодировки *GKS*, *KKS* (*Kraftwerk Kennzeichen System*), *AKS* (*Anlagen Kennzeichnung System*), *ASME Y 14.40*, *PIP PIC001* или ГОСТ 21.404, ГОСТ 2.710-81, *RDS-PP*, *ISO/IEC 61346* «Принципы структуризации и справочная система обозначений. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ПРИМЕНЕНИЯ».

Система *KKS* разработана немецким объединением промышленников (*VGB*), являющихся держателями авторских прав, и используется западными фирмами на объектах энергетики уже 25 лет.

KKS регламентирует три типа кодирования:

- технологический код – для классификации установок и приборов по их назначению в технологическом процессе;
- монтажный код – для обозначения мест монтажа внутри установки;
- конструкционный код – для обозначения помещений и этажей зданий.

Примером обозначения в подобной системе кодировки контура управления для трубопроводов *NA* является идентификатор контура управления *D* для канала расхода *CF – NAD20CF003*.

В другом варианте для описания системы кодирования компонентов АС используется следующая классификация. Каждому элементу контроля и управления присваивается идентификатор, состоящий из символьной строки. Структура шифра имеет следующий вид:

AA_BB_C_DD_EEEE,

где 1) *AA* – номер *КНС* (13, 15, 17 или 24), 2 символа:

- 13 – *КНС* № 13;
- 15 – *КНС* № 15;
- 17 – *КНС* № 17;
- 24 – *КНС* № 24;

2) *BB* – тип входа/выхода, 2 символа:

- *ai* – аналоговый входной;
- *di* – дискретный входной;
- *do* – дискретный выходной;
- *it* – внутренний;
- *co* – команда оператора;

3) *C* – параметр, 2 символа, может принимать следующие значения:

- *L* – уровень;
- *T* – температура;
- *Q* – расход;
- *W* – напряжение;
- *C* – управление;
- *S* – сигнализация состояния;

4) *DD* – порядковый номер параметра, 2 символа:

- *01* – датчик 1.

5) *EEEE* – уточнение, не более 4 символов.

Знак подчеркивания « » в данном представлении служит для отделения одной части идентификатора от другой и не несет в себе какого-либо другого смысла.

Часто используемым идентификатором в проектах АС является смешанный буквенно-цифровой код. Символьная (буквенная) часть шифра состоит из цифр и букв, которые обозначают адресную часть канала измерения, тип сигнала и его параметрическое обозначение.

Примером такой кодировки является – *13_AI_T_01* (табл. 2.4).

Для кодировки используют также рекомендации ГОСТ 2.710-81 = ЦЕХ+КОНСТРУКЦИЯ#ФУНКЦИЯ-ЭЛЕМЕНТ:КОНТАКТ.

Например, полное наименование датчика давления, установленного на компрессоре в насосной станции согласно этому ГОСТ будет 21+3#PT-001, где 21 – насосная 3 – компрессор, порядковый номер датчика датчик давления – 001.

На схеме автоматизации классифицирующие символы могут быть удалены или заменены на точки с сохранением относительного положения позиций, например, 21.3PT001.

С учетом типа сигнала (*AI, AO, DI, DO*) на контроллере или *SCADA* они могут представляться как 21.3PT001AI01 или 21_3_PT_001_AI_01.

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 проекте в ПЗ студенту 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 кодировку каналов измерения;
- описать схему информационных потоков.

Разработанную схему информационных потоков, подобную схеме, приведенной в прил. 12, необходимо поместить в альбом.

2.7. Алгоритмическое обеспечение АС. Автоматизированное управление

В зависимости от расстояния органа управления до объекта управления различают следующие режимы автоматизированного управления:

- местное управление;
- дистанционное управление;
- заблокированное управление.

В свою очередь, эти режимы подразделяются на режимы в зависимости от степени участия человека в процессе управления:

- ручное/местное;
- ручное заблокированное (местное);
- автоматическое (местное);
- ручное дистанционное;
- ручное заблокированное дистанционное;
- автоматическое централизованное;
- автоматизированное централизованное.

В технической литературе, в т.ч. нормативно-технической используют следующие синонимы:

«*Ручное/местное*» – ручное, или местное, управление.

«*Ручное заблокированное управление*» – полуавтоматическое управление.

«*Дистанционное управление*» – централизованное управление, или диспетчерское управление.

«*Автоматическое (местное)*» и «*Автоматическое централизованное*» – автоматическое регулирование и автоматическое управление с дальнейшим сообщением предпринимаемых действий автоматического управления.

Под местным режимом управления понимается управление электроприводом с помощью органов управления (кнопок, ключей, командоаппаратов и т.п.), расположенных вблизи от механизмов, в прямой видимости механизма. В этом случае оперативный работник имеет возможность непосредственно контролировать работу механизма визуально, по слуху, по приборам, по вибрации и т.п.

Местное управление может быть предусмотрено для проведения опробования, наладки, испытаний, ввода в эксплуатацию после монтажа или ремонта механизмов с электроприводом.

Местное заблокированное управление применяется для группы взаимосвязанных механизмов или отдельного механизма из группы взаимосвязанных, заблокированных по пуску механизмов в тех случаях, когда механизмы требуют оперативного местного контроля (визуального,

слухового и т.п.) со стороны персонала, когда контроль дистанционный или автоматический невозможен, а также механизмов так называемого «тяжелого пуска» (например, пуска насосов большой производительности или газоперекачивающих агрегатов и т.п.).

В этом случае заблокированный пуск механизма может быть осуществлен оперативным персоналом с местного поста управления после получения разрешения от заблокированного механизма или с местного поста управления.

Режим *«Дистанционное управление»* подразумевает необходимый контроль за работой механизма, его пуск и останов со стороны оператора, находящегося на значительном расстоянии от механизма, без прямой видимости объекта управления.

Дистанционное управление может быть несблокированным (ручным, индивидуальным для каждого механизма) и заблокированным (аналогичным для местного заблокированного управления).

В автоматическом режиме управления все команды управления, контроль работы механизмов производятся автоматически, без непосредственного участия оперативного персонала. Автоматический режим возможен при дистанционном и местном расположении аппаратуры автоматического управления, что вносит определенную специфику не только в схемы управления, но также в структуру АС.

Выбор режима управления *«Сблокированное управление»*, *«Местное управление»*, *«Дистанционное управление»* производится специальным переключением. Переключатели «Пуск», «Стоп», «Вперед», «Назад» могут устанавливаться в различных местах:

- по месту около механизма;
- на щите станции управления в распределительном устройстве;
- на щите дистанционного управления; на щите в помещении оператора.

Размещение переключателя режимов управления имеет специфические особенности с учетом требований ПУЭ, п. 5.3.31: «При наличии дистанционного или автоматического управления электродвигателем какого-либо механизма вблизи последнего должен быть установлен аппарат аварийного отключения, исключающий возможность дистанционного или автоматического пуска электродвигателя до принудительного возврата этого аппарата в исходное положение.

Не требуется устанавливать аппараты аварийного отключения у механизмов:

- а) расположенных в пределах видимости с места управления;

б) доступных только квалифицированному обслуживающему персоналу (например, вентиляторы и насосы, устанавливаемые в отдельных помещениях);

в) конструктивное исполнение которых исключает возможность случайного прикосновения к движущимся и вращающимся частям; около этих механизмов должно быть предусмотрено вывешивание плакатов, предупреждающих о возможности дистанционного или автоматического пуска;

г) имеющих аппарат местного управления с фиксацией команды на отключение.

Целесообразность установки аппаратов местного управления (пуск, останов) вблизи дистанционно или автоматически управляемых механизмов должна определяться при проектировании в зависимости от требований технологии, техники безопасности и организации управления данной установкой».

В соответствии с РД 50-34.698-90 проектный документ «Описание алгоритма (процедуры)» в зависимости от специфики АС допускается разрабатывать, как документ «*Описание алгоритма*», или как документ «*Описание проектной процедуры (операции)*».

Проектный документ «*Описание алгоритма*» содержит разделы:

- 1) назначение и характеристика алгоритма;
- 2) используемая информация;
- 3) результаты решения;
- 4) математическое описание;
- 5) алгоритм решения.

В разделе «Назначение и характеристика алгоритма» приводят:

- 1) назначение алгоритма (его части);
- 2) описание постановки задачи, для решения которой он предназначен;

3) описание алгоритма, с которым связан данный алгоритм (при необходимости);

4) краткие сведения о процессе (объекте), при управлении которым используют алгоритм, а также воздействия на процесс с точки зрения пользователя, осуществляемые при функционировании алгоритма;

5) ограничения на возможность и условия применения алгоритма и характеристики качества решения (точность, время решения и т.д.);

6) общие требования к входным и выходным данным (форматам, кодам и т.д.), обеспечивающие информационную совместимость решаемых задач в системе.

В разделе «Используемая информация» приводят перечень массивов информации и (или) перечень сигналов, используемых при реализации алгоритма, в том числе:

1) массивы информации, сформированные из входных сообщений (документов плановой, учетной и нормативно-справочной информации, сигналов и т.д.);

2) массивы информации, полученные в результате работы других алгоритмов и сохраняемые для реализации данного алгоритма.

По каждому массиву приводят:

1) наименование, обозначение и максимальное число записей в нем;

2) перечень наименований и обозначений, используемых (или неиспользуемых) реквизитов и (или) входных переменных задачи или ссылки на документы, содержащие эти данные.

В разделе «Результаты решения» приводят перечень массивов информации и (или) перечень сигналов, формируемых в результате реализации алгоритма, в том числе:

1) массивы информации и (или) сигналов, формируемые для выдачи выходных сообщений (документов, видеокадров, сигналов управления и т.д.);

2) массивы информации, сохраняемой для решения данной и других задач АС. Формализованное описание содержит:

1) математическую формулировку;

2) описание входных, выходных, нормативно-справочных данных;

3) список обозначений элементов предметной области с указанием их наименований, единиц измерения, диапазона изменения значений;

4) ограничения, определяющие допустимые варианты реализации процедуры (операции);

5) критерии оптимальности для процедуры (операции) оптимизации.

В разделе «Математическое описание» приводят:

1) математическую модель или экономико-математическое описание процесса (объекта);

2) перечень принятых допущений и оценки соответствия принятой модели реальному процессу (объекту) в различных режимах и условиях работы (например, для АС – стационарные режимы, режимы пуска и остановки агрегатов, аварийные ситуации и т.д.);

3) сведения о результатах научно-исследовательских работ, если они использованы для разработки алгоритма.

В разделе «Алгоритм решения» приводят:

1) описание логики алгоритма и способа формирования результатов решения с указанием последовательности этапов счета, расчетных и (или) логических формул, используемых в алгоритме;

- 2) указания о точности вычисления (при необходимости);
- 3) соотношения, необходимые для контроля достоверности вычислений;
- 4) описание связей между частями и операциями алгоритма;
- 5) указания о порядке расположения значений или строк в выходных документах (например, по возрастанию значений кодов объектов, по группам объектов и т.д.).

Рекомендуемый перечень проектного алгоритмического обеспечения может быть представлен, например, в виде табл. 2.5.

Таблица 2.5

Перечень алгоритмов

Наименование алгоритма	Входные переменные	Выходные переменные	Коэффициенты настройки, константы	Примечания
Алгоритмы контроля/управления парового котла (в контроллерах ШК1, ШК2)				
Регулирование давления питающей воды	PT00205AI01; PDS0105AI01	SFC0205AO01 (код сигнала); ЧРП (частотно-регулируемый привод)	<i>K</i> _п ; <i>T</i> _п ; <i>T</i> _{ик} ; Δ	ПИ-регулирование частотой привода
Регулирование уровня в барабане	LE00105AI01 и LIA0105DI02; PDS0105AI01; FE12 (возле парового коллектора)	Y110105DO01; Y110105DO02 % (мм) открытия РО на воде	<i>K</i> _п ; <i>T</i> _п ; <i>T</i> _{дк} ; <i>T</i> _{ик} ; Δ	Трехимпульсное ПДД регулирование
Регулирование давления пара на выходе котла	PT00105AI01; KS10105AO01	SFC0105AO01	<i>K</i> _п ; <i>T</i> _п ; <i>T</i> _{ик} ; Δ	ПИ-регулирование частотой привода
Регулирование разряжения уходящих газов	TE00105AI01; TE00205AI01; PIS0305AI01; PI01205AI01; PIS0205AI01	SFC0105AO01	<i>K</i> _п ; <i>T</i> _п ; <i>T</i> _{ик} ; Δ	ПИ-регулирование частотой привода

В проектном документе алгоритм представляется одним из следующих способов:

- 1) графическим (в виде схемы);
- 2) таблично-графическим;
- 3) таблично-функциональным;
- 4) текстовым;

5) последовательно автоматным (автоматная диаграмма, сеть Петри или *Matlab_State Flow*);

6) смешанным (графическим или табличным с текстовой частью).

Способ представления алгоритма выбирает разработчик, исходя из сущности описываемого алгоритма и возможности формализации его описания.

Алгоритм в виде схемы выполняют по правилам, установленным ГОСТ 19.002 или ГОСТ 19.005.

Алгоритм в текстовом виде рекомендуется описывать в соответствии с ГОСТ 24.301 и ГОСТ 2.105-95.

Таблично-графический формат описания установлен правилами *ANSI S 5.2* (прил. 14).

Таблично-функциональный формат описания алгоритма, рекомендованный нормативными документами ОАО НК Роснефть, показан в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Перечень действий операторов УПСВ

№ п/п	Действия оператора	Тип реализации
1	Ведение технологического процесса согласно технологическому регламенту установки	А
2	Регулирование и контроль технологических параметров (температура, давление, расход, межфазные уровни в технологических аппаратах) с помощью программного обеспечения, установленного на рабочем месте согласно регламенту (табл. 1)	А
3	Участие в ликвидации аварий и их последствий	А, Н
4	Проверка работоспособности, сроков освидетельствования приборов контроля, предохранительной арматуры	А, Н
5	Приготовление и дозировка реагентов	А
6	Учет сдачи товарной нефти потребителю	А
7	Проведение обходов, осмотров оборудования	Н
8	Ведение технической документации по работе оборудования и технологическому режиму, расходу реагентов, учету характеристик поступившего и сданного продукта, составление заявок на ремонт и обслуживание оборудования	Н

Алгоритм в последовательном, автоматном представлении выполняют в соответствии с международным стандартом *IEC 61512*.

Сеть последовательного автомата предназначена специально для программирования последовательности выполнения действий системой управления, когда эти действия должны быть выполнены в заданные моменты времени или при наступлении некоторых событий. В его основе лежит представление системы управления с помощью по-

нятий состояний и переходов между ними. В математическом плане эти алгоритмы представляются в нотации сети Петри.

Такая нотация предназначена для описания системы управления на разных уровнях абстракции технологического процесса; на самом верхнем уровне абстракции, например, в терминах «Старт», «Наполнение автоклава», «Выполнение этапа № 1», «Выполнение этапа № 2», «Выгрузка из автоклава». Описание алгоритма в этом виде очень похоже на язык *SFC* (МЭК 61311) и может быть использовано также для программирования отдельных функциональных блоков, если алгоритм их работы естественным образом описывается с помощью понятий состояний и переходов.

Автоматизированное управление технологическим процессом

Автоматизированное управление в *SCADA* реализуется нотацией сценариев.

При построении *SCADA*-сценария (*алгоритма автоматизированного управления* процессом с консоли) можно использовать следующие функциональные блоки программного сценария:

1. Прием (восприятие) сигнала с консоли (режим, когда оператор наблюдает только за индикаторами, отображающими уровень контролируемых параметров). Этот блок учитывает время восприятия сигналов.

2. Прием через поиск. Оператор наблюдает всю консоль. Этот блок необходим при моделировании всей деятельности оператора, учета времени сканирования консоли взглядом.

3. Выявление информационного содержания сигналов. На этом этапе определяется уровень сигналов контроля.

4. Интерпретация сигналов. Сравнение и выбор адекватного сигналу образа: красный – авария, желтый – предавария, зеленый – нормальный режим работы.

5. Квитирование с усилением внимания и подготовкой к возможной аварии и ее устранению.

6. Выбор действий согласно плану ликвидации возможных аварий, в зависимости от вида аварии и места ее возникновения.

7. Квитирование с установлением дефицита информации.

8. Добор информации для однозначной идентификации состояния.

9. Действия согласно плану ликвидации возможных аварий.

В процессе автоматизированного управления с консоли посредством разработанных сценариев в *SCADA* реализуются следующие алгоритмы:

- алгоритмы обнаружения событий;
- алгоритмы анализа ситуаций;
- алгоритмы подготовки советов и рекомендаций;
- алгоритмы оптимизации;
- алгоритм подготовки и принятия решений;
- алгоритмы-сценарии пуска/останова технологического оборудования;
- алгоритмы вспомогательные;
- алгоритмы учета (технико-экономические).

Алгоритмы обнаружения событий. Снимаемую с датчиков информацию о событиях, характеризующих функционирование объекта управления, обрабатывают по различным алгоритмам, зависящим от типа входных сигналов:

B – «бинарные сигналы»;

BЭ – «больше или равно эталону»;

MЭ – «меньше или равно эталону»;

З – «зона»;

K – «количественная оценка события».

Алгоритм B. Проверяется, какой из двух возможных уровней имел сигнал («1» – событие произошло, «0» – событие не произошло). Проверка осуществляется в определенный момент времени, регистрируемый циклом управления или таймером.

Алгоритм BЭ. Сигнал $I(T)$ о событии сравнивается с заданным эталоном E , и вырабатывается значение логической переменной $B(T)$ по правилу

$$B(T) = \begin{cases} 1, & I(T) \geq E; \\ 0, & I(T) < E. \end{cases}$$

Алгоритм MЭ. Аналогичен алгоритму *GE*, за исключением того, что значение логической переменной $B(T)$ вырабатывается по закону

$$B(T) = \begin{cases} 1, & I(T) \leq E; \\ 0, & I(T) > E. \end{cases}$$

Алгоритм З. Проверяется попадание сигнала о событии в определенную зону. Значение логической переменной $B(T)$ вырабатывается в соответствии с соотношениями

$$B(T) = \begin{cases} 1, & I(T) \leq E_1 \ \& \ I(T) \geq E_2; \\ 0, & I(T) < E_2 \ \vee \ I(T) > E_1, \end{cases}$$

где $E_2 < E_1$, E_1, E_2 – границы зоны.

Алгоритм К. Производится количественная оценка значения сигнала $I(T)$ в соответствии с метрической многоэталонной шкалой. Используется упорядоченная таблица эталонов, в которой производится поиск по дихотомическому методу.

Алгоритмы анализа ситуаций. Алгоритмы анализа ситуаций обеспечивают распознавание и классификацию ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации объекта, и выявляют соответствующие последним классы допустимых управляющих воздействий. При этом выработываются рекомендации по ликвидации нарушений в ходе процесса и выделяются параметры, по которым в данной ситуации следует оптимизировать производство.

Основой алгоритмов анализа ситуаций являются обычные и временные булевы (логические) функции вида $f(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$, где x_1, x_2, \dots, x_n – логические переменные, полученные в результате анализа состояния параметров технологического процесса.

Алгоритмы подготовки советов и рекомендаций. К этой группе относятся алгоритмы первичной переработки информации, ее интегрирования, сжатия. При использовании компьютера в режиме «советчика» сохраняются местные устройства автоматики и защиты. Совет машины формируется в виде рекомендаций для обслуживания персонала (оператора), который может этими рекомендациями пренебречь и поступать по своему усмотрению. Управление механизмами объекта осуществляется по командам, которые формируются человеком с помощью различных управляющих органов (кнопок, манипуляторов, переключателей и т.п.) как с пультом управления, входящих в состав АС, так и расположенных на объекте. Выполнение быстродействующих управляющих воздействий (например, сигналов аварийной защиты) возлагается на местные устройства автоматизации.

Алгоритм подготовки и принятия решений строится по следующей схеме:

- 1) получение исходной информации от управляемого объекта;
- 2) анализ информации;
- 3) выявление проблемной ситуации;
- 4) формирование целей;
- 5) построение модели системы;
- 6) формирование критерия и (или) предпочтения;
- 7) поиск процедуры решения задач;
- 8) выбор решения;
- 9) корректировка решения;
- 10) реализация решения.

Алгоритмы-сценарии пуска/останова технологического оборудования описываются с использованием нотаций последовательных автоматов, модельных нотаций функционального описания типа *IDEF0*, графических описаний в виде блок – схем, в виде концептуальных моделей баз данных и/или с использованием языков сценариев.

Пример блок-схемного описания алгоритма приведен на рис. 2.20.

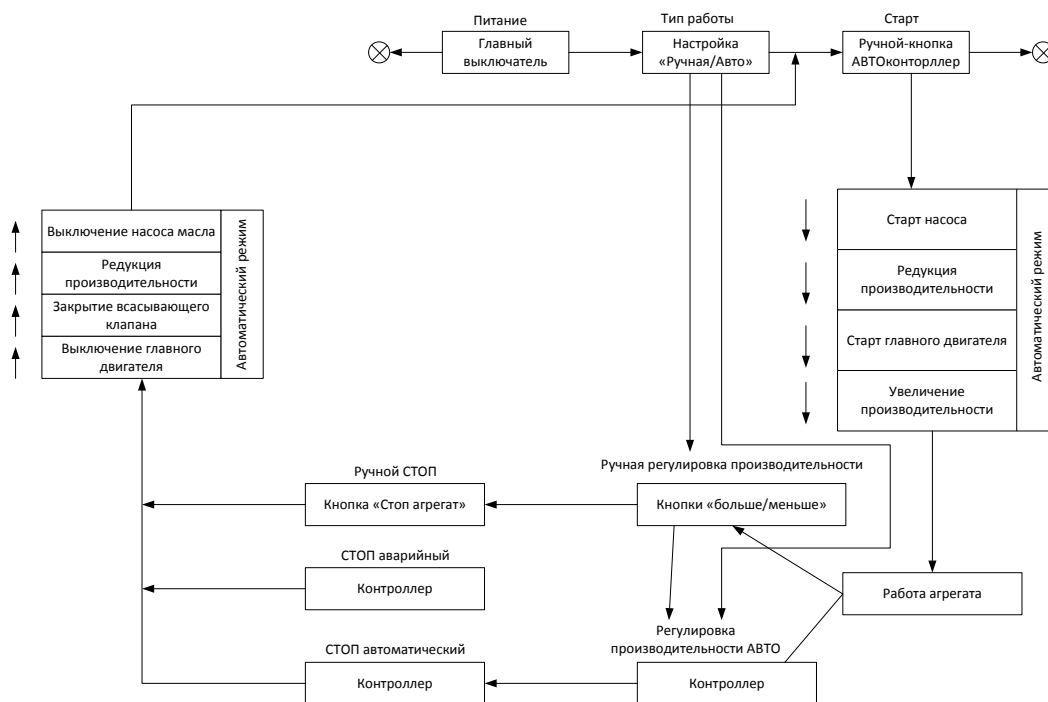


Рис. 2.20. Пример описания алгоритма в виде блок-схемы

Расчет технико-экономических показателей (ТЭП) предназначен:

- для представления оперативному и эксплуатационному персоналу данных о текущей эффективности работы оборудования, что позволяет проводить коррекцию режимов работы оборудования;
- использования при оперативных расчетах энергетических характеристик оборудования и автоматизации распределения электрических и других нагрузок между параллельно работающими источниками мощности.

Расчет ТЭП выполняется либо с периодом 15–30 мин (оперативные ТЭП), либо с периодом бизнес-отчетов.

Пример структурной схемы сбора данных ТЭП показан на рис. 2.21. Алгоритм расчета ТЭП должен включать задачу распознавания технологической ситуации и специальный контроль достоверности входной, усредненной и накопленной на оперативном интервале входной информации.

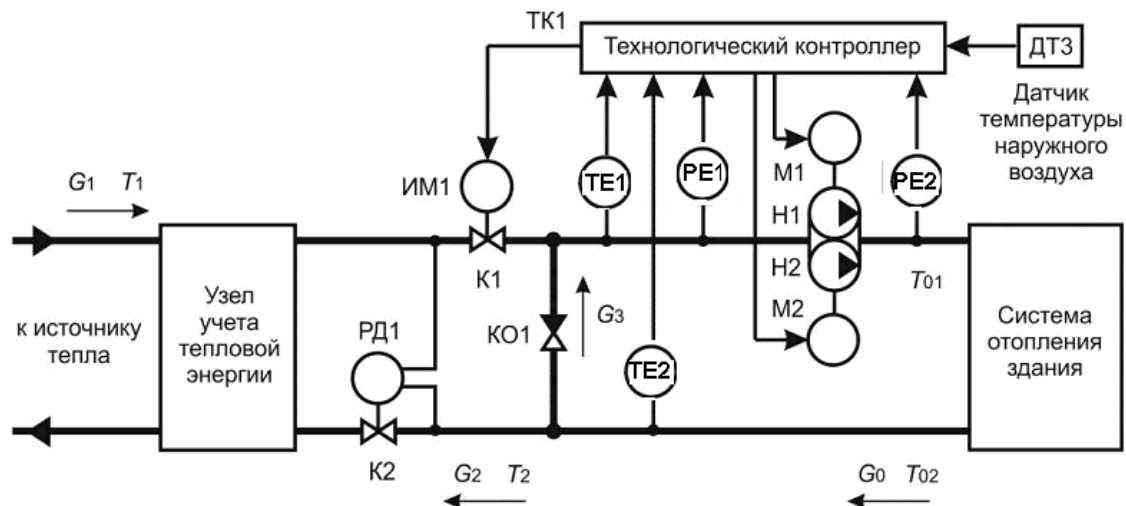


Рис. 2.21. Структурная схема сбора данных ТЭП здания

Результаты расчетов оперативных ТЭП по вызову оператора-технолога отображаются в виде таблиц на экранах мониторов, протоколируются и заносятся в архив.

При оптимизации ТЭП реальный технологический процесс с контролируемыми входными параметрами и выходным критерием пытаются аппроксимировать стандартной математической моделью специального вида, например, в виде динамической модели последовательного соединения линейного многомерного динамического звена (каналов измерения АС) и нелинейного (параболического) звена (оптимизатора) (рис. 2.22). Входами модели (динамического звена) являются реальные входные параметры процесса, а выход модели (статического звена) – оптимизируемый технико-экономический показатель. Априорные сведения для построения аппроксимирующей модели сводятся к качественному характеру причинно-следственных вход-выходных связей технологического комплекса в сравнительных градациях «сильная – слабая, прямая – перекрестная связь» и «задержка большая – малая». Модель имеет степени свободы в виде настраиваемых констант. Эти константы определяются идентификацией модели по фактическим заводским данным за достаточно большой интервал времени, многократно превышающий максимальную задержку.

Алгоритм оптимизации (рис. 2.23) состоит из двух блоков: блока оценивания промежуточных переменных модели (параметров состояния динамического звена) и блока собственно регулятора стандартного вида, стабилизирующего эти параметры возле найденных оптимальных значений. Система экстремального управления обеспечивает отыскание и отслеживание оптимума выходного критерия – технико-

экономического показателя. Для этого регулятор вырабатывает поисковые и управляющие воздействия на объект по каналам измеряемых технологических параметров, причем поисковые и управляющие шаги оптимально сочетаются.

Общепринятым вариантом управления ТЭП предприятия является использование так называемого предиктивного (прогностического) управления (в частности, *Model-Based Predictive Control*, MPC-типа) технологическим объектом.

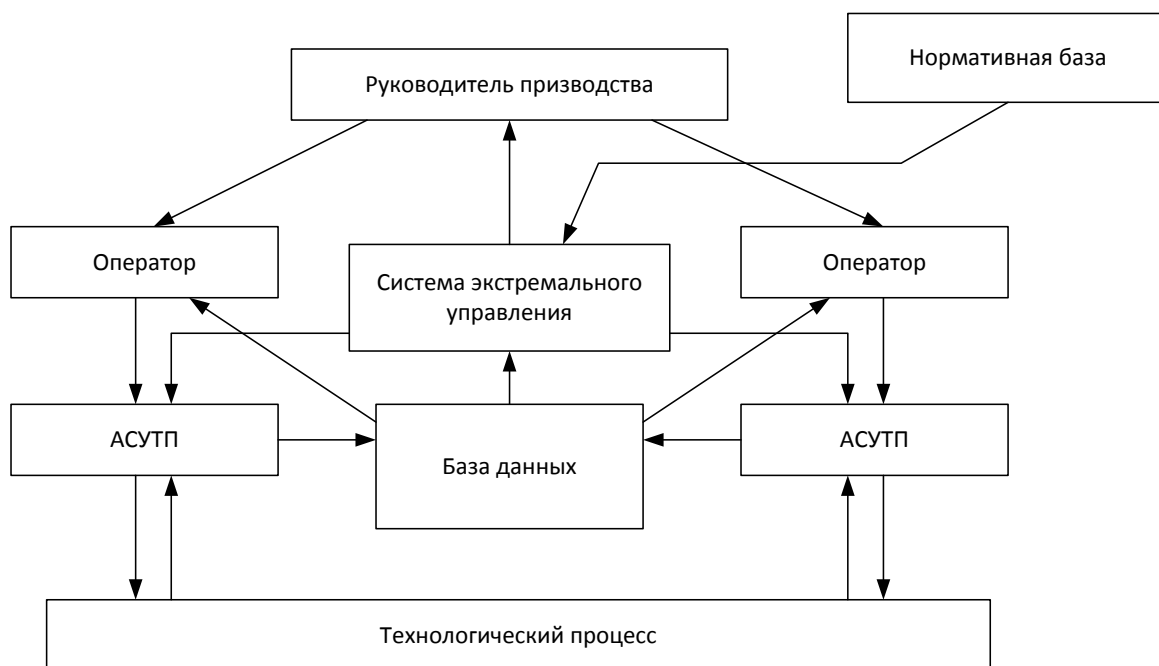


Рис. 2.22. Алгоритм расчета технико-экономических показателей ТЭП

В результате не только повышается качество регулирования рабочего параметра, но и осуществляется смещение уставки (задания) регулятору в соответствии с оптимизируемыми параметрами, такими как суммарный КПД технологического объекта или удельный расход электроэнергии. Такая коррекция уставки задания параметра в пределах допустимых границ регулирования даёт экономию собственных нужд (например, за счёт разгрузки мощных насосов), повышение теплового КПД (при учёте проектных коррекций на КПД в зависимости от параметров по тракту) и, как следствие, – повышение экономичности работы технологического процесса в целом.

Задание по разработке алгоритмов автоматизированного управления АС

В ПЗ необходимо привести следующее содержание раздела алгоритмического обеспечения автоматизированного управления ТП:

- определить (перечислить) алгоритмы автоматизированного управления, необходимые для управления ТП с консоли диспетчера, с указанием типа математической нотации и описания источников данных и результатов (выходных данных);
- разработать один из алгоритмов сценария SCADA в виде блок-схемы (рекомендуется блок-схема автоматизированного управления, т.е. с участием оператора, пуска/останова технологического объекта).

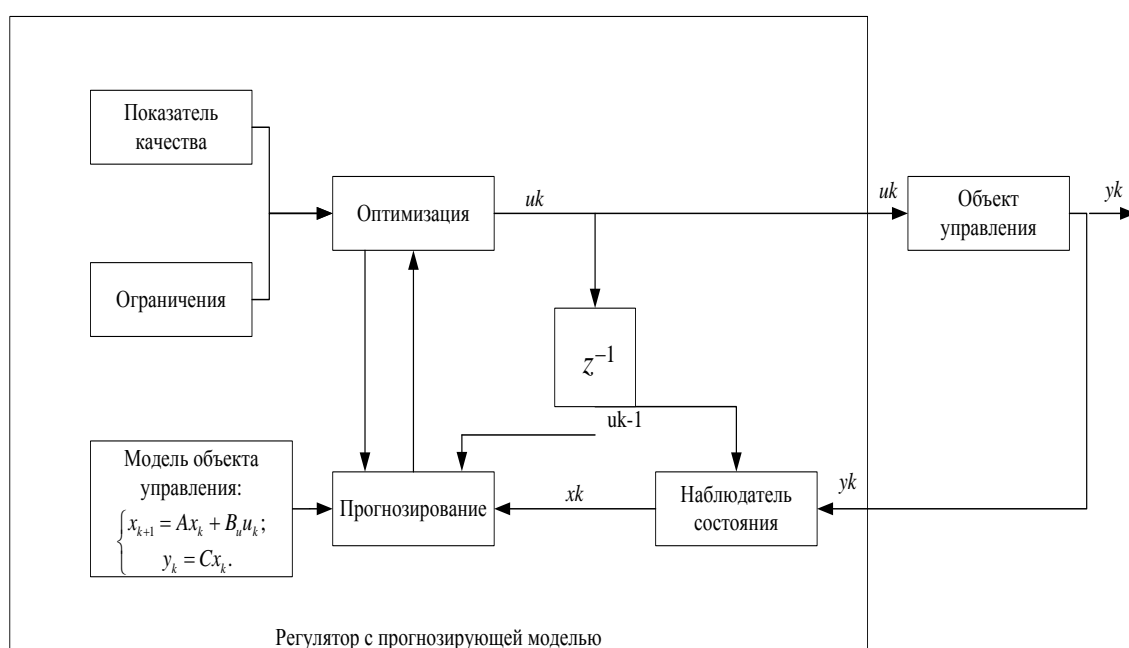


Рис. 2.23. Алгоритм оптимизации

Одну блок-схему автоматизированного управления поместить в «Альбом схем» (прил. 6). Выполнить описание алгоритма в соответствии с РД 50-34.698-90.

2.8. Алгоритмическое обеспечение АС. Автоматическое регулирование

Автоматическое регулирование. Задачей выбора алгоритмического обеспечения автоматического регулирования является анализ вариантов, выбор и обоснование структуры САР.

Объектом управления (ОУ) является технологическая линия, технологический процесс, установка, единица оборудования и т.д., пара-

метрами которых осуществляется автоматическое (без участия человека) управление. Регулируемой величиной $Y(t)$ или регулируемым параметром называется величина (температура, скорость вращения, давление, перемещение и т.д.), заданное значение которой нужно поддерживать. Чувствительный (измерительный) элемент служит для измерения регулируемой величины и преобразования его в сигнал для дальнейшего использования в процессе регулирования. Он состоит из собственного чувствительного элемента (XE), который непосредственно воспринимает измеряемую величину (давление, уровень, температура и т.д.), и преобразующего элемента (XT).

Устройство сравнения предназначено для измерения отклонений регулируемой величины от заданного значения, которое вырабатывается задающим устройством.

Задающее устройство вырабатывает сигнал, пропорциональный задаваемому верхним уровнем автоматизации значению регулируемой величины. Задание должно иметь ту же физическую природу, что и регулируемая величина, например, давление. Этот сигнал масштабируется и поступает на автоматический регулятор (логическое устройство).

В случае использования контроллеров задаваемое задание устанавливается в АС непосредственно в программе ПЛК на этапе его конфигурирования. В этом случае сигнал преобразующего элемента измерительного устройства в ПЛК масштабируется.

Исполнительное устройство в соответствии с сигналом регулятора осуществляет непосредственное воздействие на ОУ. Оно состоит из привода и регулирующего органа. Приводная часть выполняется в виде электродвигателя, пневматического или гидравлического устройства. Регулирующая часть может быть краном, задвижкой, клапаном и т.д.

Регулирующее воздействие (входная величина $X(t)$), осуществляемое исполнительным механизмом, оказывает воздействие на объект регулирования со стороны логического устройства (регулятора).

Внешние (возмущающие $z(t)$) воздействия – это возмущения, действующие на систему и вызывающие отклонение регулируемой величины от заданного значения. Оно может быть приложено в любом месте САР.

Система автоматического регулирования должна вести себя существенно различным образом по отношению к регулирующему и возмущающему воздействию. Если на регулирующее воздействие САР должна реагировать изменением регулируемой величины $Y(t)$, то на возмущающее воздействие она должна реагировать так, чтобы не изменять ее, т.е. система должна противодействовать этому возмущению.

Объект управления – это целевая часть системы автоматического регулирования, свойства которого определяют выбор типа регулятора

и характеристики регулирования. Заданный режим ОУ должен поддерживаться регулирующими воздействиями исполнительного устройства.

Внешние связи объектов регулирования (установок НГО) можно представить следующей схемой (рис. 2.24).

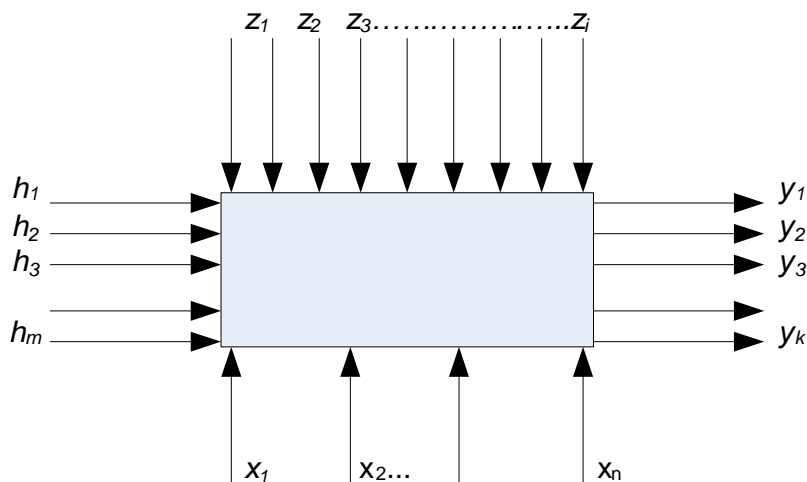


Рис. 2.24. Схема внешних связей системы

Прямоугольник на рисунке символизирует выделенный объект управления.

Входы на рис. 2.24 разделены на три группы: H , X , Z .

h_1, h_2, \dots, h_m – факторы, контролируемые, но нерегулируемые. К нерегулируемым входам относят, прежде всего, конструктивные факторы, которые трудно регулировать (длина трубопровода); качественные показатели сырья (трудно регулировать состав сырья) и т.д.

X – вектор контролируемых и регулируемых входов. Это те воздействия, которые мы измеряем и целенаправленно изменяем, чтобы привести систему в нужное состояние.

Z – вектор неконтролируемых факторов. Это (возмущения) те воздействия на систему, которые находятся вне контроля.

Возможны три основных причины того, что тот или иной фактор оказывается неконтролируемым.

Во-первых, объект может быть плохо изучен, вследствие чего неизвестно, как данный фактор влияет на поведение объекта.

Вторая причина – неумение его контролировать. Есть параметры процесса, которые невозможно контролировать по техническим или экономическим причинам.

Третья причина – это неконтролируемое множество входных воздействий, поскольку таких воздействий так много (практически бесконечно много), что все их контролировать невозможно. При этом каждый

из этих факторов может влиять очень слабо, но их совокупное влияние может быть весьма ощутимым. Важно отметить, что это влияние носит случайный характер и то, что, не контролируя входы Z , невозможно предсказать, как они повлияют в той или иной момент. В целом влияние неконтролируемых воздействий часто обозначают термином *шум*. Учет шума необходим в большинстве технологических задач.

Обозначения y_1, \dots, y_k относятся к воздействиям системы на окружающий мир, – это результаты функционирования системы. К их числу относятся параметры, характеризующие состояние ОУ, количество произведенного продукта, его качественные показатели, себестоимость, прибыль предприятия, количество выбрасываемых в окружающую среду вредных примесей и множество других показателей.

В НГО объектами управления могут быть:

- *распределенные*, например, магистральные трубопроводы;
- *безъемкостные*, например, небольшие трубопроводы;
- *однородные* объекты, у которых нарушение равновесия между подачей и потреблением вызывают одновременные и одинаковые изменения регулируемой величины во всех точках емкости;

- *многоемкостные*, у которых имеются две или более емкости, разделенные между собой термическим, гидравлическим или электрическим сопротивлениями;

- *устройства с самовыравниванием* (способностью объекта без участия регулятора входить в новый устойчивый режим работы).

- *устройства без самовыравнивания* (объекты, не обладающие свойством самовыравнивания).

ОУ в НГО характеризуются:

- *инерционностью* (способностью объекта к накоплению или расходу энергии, или вещества в результате наличия сопротивлений);

- *задержкой* (временным отставанием регулируемой величины);

- *временем разгона* (временем, в течение которого регулируемая величина изменяется от нуля до заданного значения при мгновенном 100%-м изменении регулируемого воздействия и постоянстве его действия);

- *постоянной времени объекта* (временем его разгона при наличии, например, инерционности).

При описании объекта управления необходимо уточнить динамические свойства всех компонентов САУ (датчиков исполнительных устройств собственно объекта управления и регуляторов). Такое уточнение позволит сконцентрироваться при описании свойств ОУ на их существенных динамических особенностях. В качестве шаблона для

уточнения параметров отдельных компонентов САР НГО, характеризующих их динамические свойства, можно воспользоваться рис. 2.25.

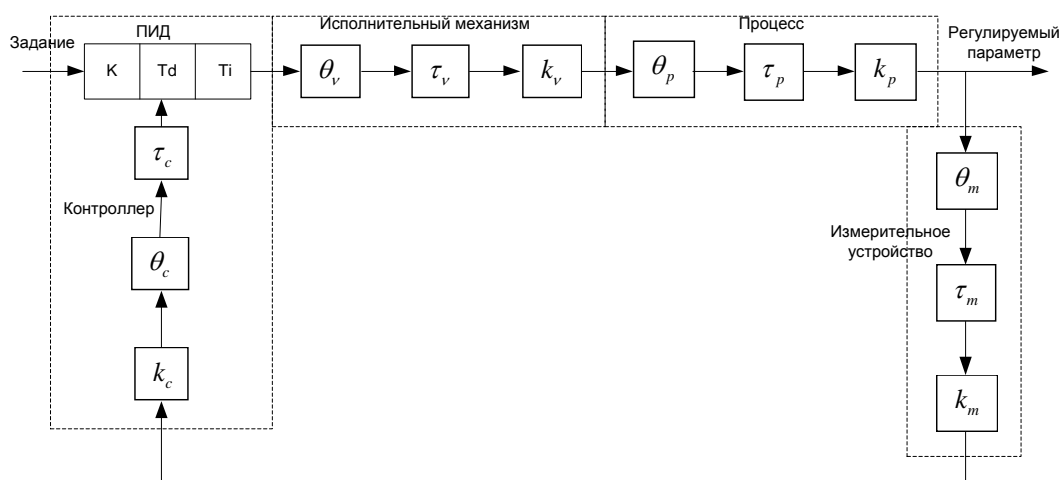


Рис. 2.25. Структура возможных задержек и запаздываний в контуре САР

Здесь θ_j (*lag*) определяют временное запаздывание элементов, механизмов и объекта управления, вызываемое эффектами одного или нескольких их свойств типа емкости, инерционности (обычно определяемые как постоянные времени T), τ_i (*delay*), которые определяют временную задержку (сдвиг по времени начала переходного процесса относительно входного воздействия), часто называемую транспортной задержкой и k_l – коэффициент усиления. В результате анализа (сопоставления) динамических характеристик отдельных компонентов САР можно упростить ее модельное описание путем пренебрежения порядком их малости.

Функционально выделяют следующие виды алгоритмов автоматического регулирования:

- технологические алгоритмы (автоматы управления процессами);
- алгоритмы (автоматы) управления исполнительными устройствами.

Технологические алгоритмы – это регуляторы, реализующие установленные условия выполнения технологического процесса. Это наиболее сложные и объемные виды алгоритмов. Результатом этих алгоритмов является формирование команд (сигналов) для управления исполнительными устройствами. Технологический алгоритм должен не только корректно реализовывать последовательность операций по управлению технологическим процессом, но и не менее корректно реагировать на ненормальное функционирование процесса.

Алгоритм управления исполнительным устройством – это регулятор, реализующий логику непосредственного управления приводом исполнительного устройства. Этот вид алгоритмов является базовым для многих исполнительных устройств. Он может зависеть от логики управления технологического процесса, но главным его отличием является учет особенности управления приводом ИУ (в частности, дискретное, ШИМ или непрерывное управление приводом постоянной/ переменной скорости или управление его позиционированием).

Алгоритмы автоматизации в НГО в большинстве случаев реализуют с использованием управляющих программ контроллера.

Алгоритмы автоматического регулирования проектируются на основе передаточных функций и структурных схем САУ.

Для этого структурная схема представляется в виде графического изображения совокупности частей САУ (рис. 2.26), на которые её можно разделить по определённым признакам, и связей между частями с указанием направления передачи воздействий (в частности, объект управления, измерительное устройство, регулятор, исполнительный механизм).

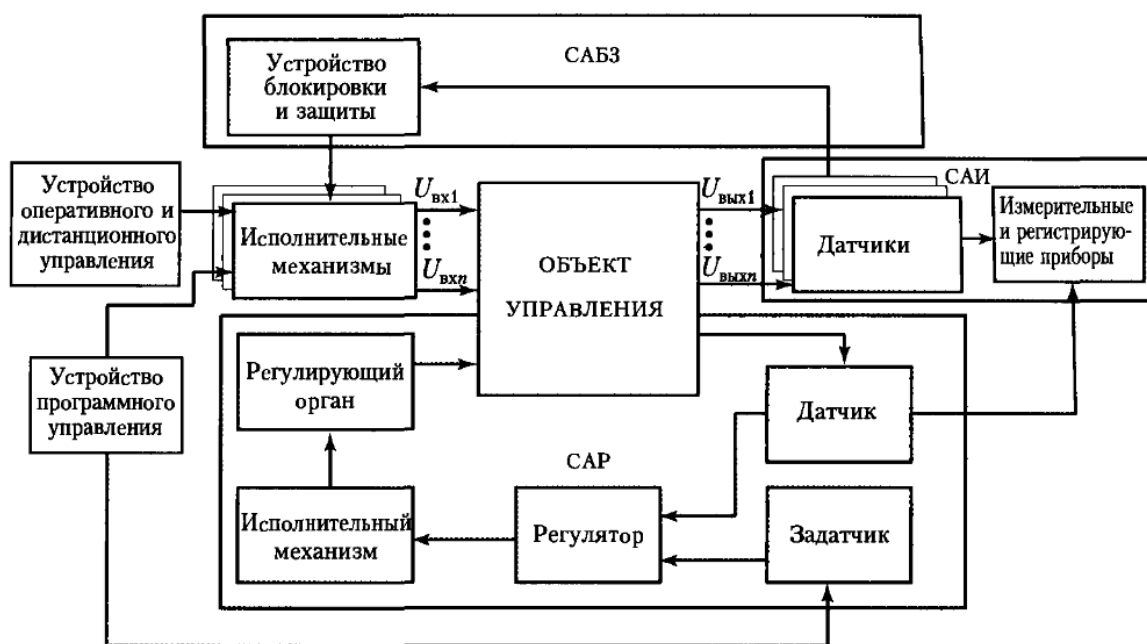


Рис. 2.26. Типовая схема промышленной САУ: САИ – система автоматического измерения; САБЗ – система автоматической блокировки; САР – система автоматического регулирования

Среди важнейших звеньев САУ с элементарными свойствами различают:

- динамические (изменяющие входное воздействие во времени);

- интегрирующие, дифференцирующие, с временной задержкой; формирующие (изменяющие масштаб и форму входного воздействия и т.п.);
- пропорциональные, модуляционные, импульсные; арифметические;
- суммирующие, множительные и т.п.;
- логические (осуществляющие логические операции над входными величинами).

Линейные динамические и масштабные звенья, а также функциональные преобразователи изображают на структурной схеме прямоугольниками; сумматор – кружком, разделённым на секторы (секторы, к которым подводятся вычитаемые, часто зачерняют); узел – жирной точкой на пересечении соответствующих связей (рис. 2.31). Передаточную функцию (ПФ) отдельного звена или САР обозначают $W(s)$, либо $W(p)$ (где s, p – аргумент преобразования Лапласа), либо просто W .

В зарубежной технической литературе используют структурное представление АС с ПЛК в виде, показанном на рис. 2.27. Здесь $SCLR$ – масштабирование, SUB – сравнение, AI – аналоговый выходной сигнал (4...20 мА), AO – аналоговый входной сигнал (4–20 мА), PID – ПИД алгоритм управления.

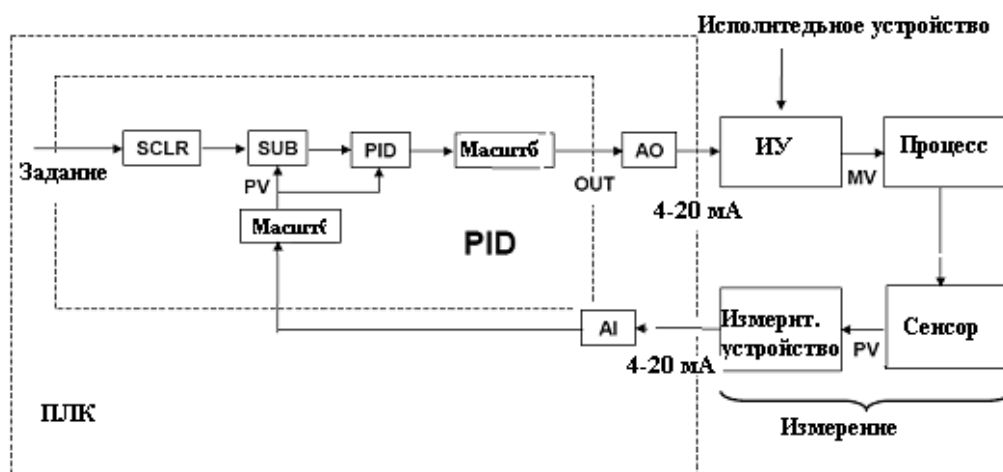


Рис. 2.27. Структурная схема САР в обозначениях ANSI

В зависимости от особенностей ОУ в НГО различают следующие структуры САР:

- *SISO* (single-input, single-output, САР с одним входом и одним выходом);
- *SIMO* (single input, multiple output, САР, которые одним регулятором управляют несколькими параметрами ОУ);

- *MISO* (*multiple input, single output*, САР с несколькими входами и одним выходом);
- *MIMO* (*multiple input, multiple output*, САР с несколькими входами и выходами).

В этих структурах используют *Smith Predictor* алгоритмы (смит-предикаторные), логико управляющие алгоритмы, алгоритмы нейро и фазы логики управления, ПИД-алгоритмы как простого, так и адаптивного исполнения, нелинейные алгоритмы управления с корректирующими, прогнозирующими и упреждающими алгоритмами, сложные алгоритмы автоматического регулирования, которые в международной практике называют усовершенствованным управлением ТП, *Advanced Process Control (APC)*.

Под усовершенствованным управлением ТП принимают «набор математических и программно-алгоритмических средств, направленных на повышение эффективности производства в результате добавления дополнительных возможностей в существующую на технологическом объекте систему управления». Термин «усовершенствованное управление процессом» (*APC*) вошел в употребление после 60-х годов прошлого столетия. Под ним понимался любой алгоритм или стратегия, которая отличалась от классического ПИД управления.

Сегодня нотация *APC* относится к алгоритмической методологии управления с широким набором методов и технологий, применяемых в промышленных системах управления технологическими процессами. Она обычно используется при необходимости и в дополнение к простейшим способам управления, которые закладываются поставщиком оборудования для достижения ими нужной эффективности. В ряде практических случаев *APC* является приложением диспетчерского управления, которое координирует установленное регламентами количество параметров, чтобы осуществлять управление, близкое к эксплуатационным ограничениям и к наиболее благоприятному, экономичному режиму работы.

Различают две концепции такого управления:

- интегрированное управление, обеспечивающее оптимизацию эксплуатационных и стоимостных характеристик производственной деятельности, например, в технологии *Plant Wide Control (PWC)*;
- передовое (*Advanced*) управление, реализующее алгоритмы, которые обеспечивают в сложных ОУ эффективное *APC* управление.

Этот класс систем характеризуется тем, что в САР используются заказные непростые методы управления, не попадающие в своей классификации в обычные категории САР. *APC* реализуются на основе контроллеров с помощью готовых функциональных блоков (например, см. руководство компании Сименс) или пользовательскими возможностями

программирования на ПЛК-уровне. В некоторых случаях алгоритмы *APC* находятся на уровне компьютера диспетчерского управления.

Наиболее известными решениями *APC* – управления являются:

- алгоритмы и структуры, которые реализуются проверенными передовыми технологиями управления, такими как *FF/FB* (управление по возмущению/ управление по отклонению); *Override* (замещающее регулирование), *Split-range control* (двухдиапазонное «грубое-точное» регулирование); *Cascade* (каскадное регулирование); *IMC (Internal Model Control)* (регулирование с использованием внутренней модели); *Smith Predictor* (смит-предикаторное управление); *Parallel control* (параллельное управление); *Valve Position Control* (управление с внутренним контуром регулирования поположением задвижки); *Ratio control* (регулирование отношения); *Selective control* (селективное управление с использованием алгоритмов акционерного голосования *Auctioneering control*) и др. [3];

- управление типа *Model predictive control (MPC)*. Такое управление является популярной технологией, которая реализуется как на компьютере диспетчерского управления, так и на контроллерном уровне управления. Это позволяет связывать наиболее важные независимые и зависимые переменные процесса и их динамические модели с использованием математики, описывающей модельное состояние ОУ, и управлять процессом на основе алгоритмов оптимизации;

- *inferntial control* – это управление с использованием косвенных оценок. Эта концепция позволяет рассчитывать косвенную оценку параметров на основе таких легкодоступных и недорогих измерений процесса как температура, давление, уровень. Косвенное измерение востребовано в том случае, если для непосредственного измерения требуется дорогой или сложный контрольно-измерительный прибор, например, онлайн-анализатор состава газа, или его офлайн периодический лабораторный анализ;

- *sequential control* – это автоматное управление, которое относится к дискретно-непрерывным схемам автоматизации. Такое управление может быть реализовано в виде совокупности функциональных блоков, с помощью, например, формализованной автоматной методологии, построенной, например, на основе сетей Петри.

SISO-структура представляет собой САУ с одним входом и одним выходом. Примером может быть классический вариант ПИД-регулирования с устранением влияния насыщения интегрирующей составляющей *PID* при выходе управляющего сигнала в зону насыщения (рис. 2.28).

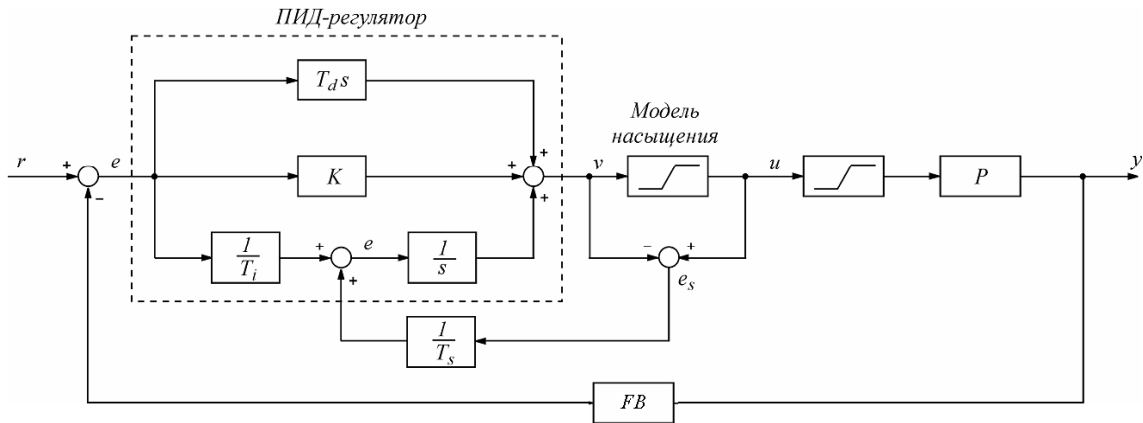


Рис. 2.28. ПИД-регулирование процессом P

Применение даже простейшей $SISO$ -структуры в виде САР с FB -обратной связью на объектах НГО имеет ряд существенных преимуществ:

1. Корректирующее воздействие обратной связи является независимым от источников нарушений в контуре автоматического регулирования и, следовательно, обеспечивает универсальную системную возможность стабилизировать процесс.

2. Не требуется никакого знания о процессе (не требуется знания модели процесса).

3. САР, построенная на основе FB -обратной связи, является робастной системой управления.

Однако в реальных условиях эксплуатации выявляются системные недостатки такой структуры САР:

1. Невозможно сформировать корректирующее воздействие до возникновения нарушения процесса. Поэтому хорошего управления с ее помощью достичь невозможно.

2. Если динамика возмущений находится в частотной области спектра процесса, то процесс, в принципе, не может быть стабилизирован.

Для достижения лучших динамических характеристик САР в технологии APC одноконтурное управление объектом управления дополняется каскадным внутренним контуром. Примером может быть САР регулирования давления в магистральном трубопроводе с использованием двух регуляторов: регулятора давления и регулятора положения клапана (задвижки), управляющего расходом в трубопроводе.

Другим примером является каскадное регулирование температурой выходного потока бойлера (рис. 2.29).

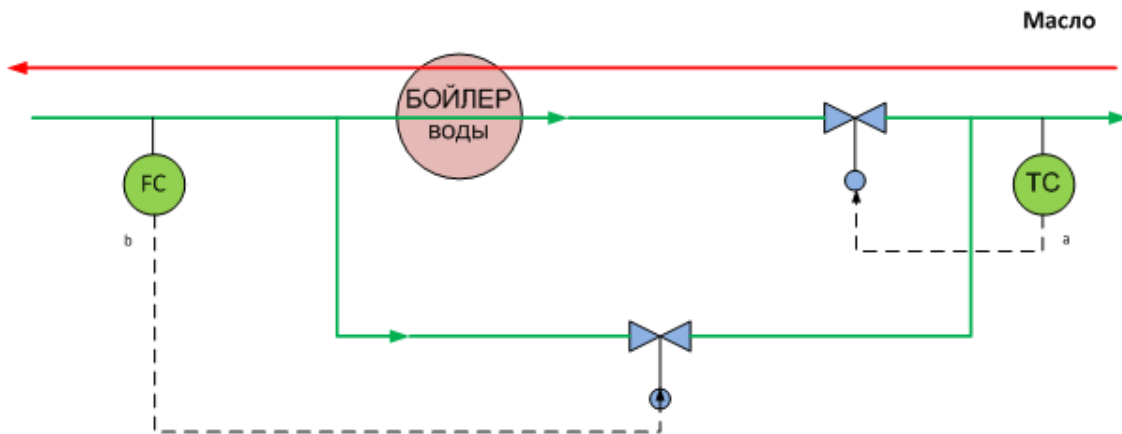


Рис. 2.29. Каскадное регулирование температуры в бойлере для нагрева воды

Достоинства каскадного регулирования:

1. С помощью эффективной настройки алгоритмов внутренних контуров регулирования ухудшения состояния ОУ, вызванные внутренними возмущениями в них, быстрее исправляются.

2. Нежелательные эффекты транспортного запаздывания и временных задержек в системе управления уменьшаются.

С использованием корректирующих средств выходную реакцию внутреннего контура (рис. 2.30) можно значительно улучшить, что позволяет увеличить реактивность основного контура регулирования.

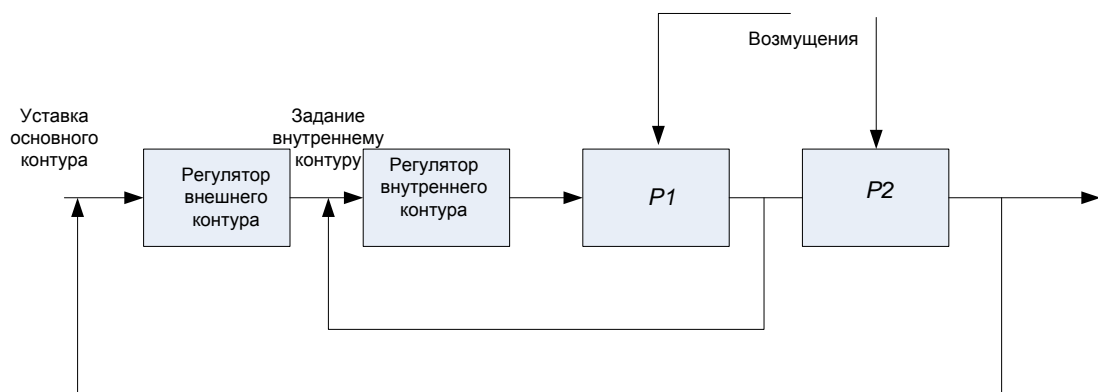


Рис. 2.30. Структурная схема каскадного регулирования

Недостатками являются:

- 1) увеличение стоимости САР;
- 2) увеличение трудностей настройки внутренних регуляторов из-за непрерывного непостоянства их уставок.

При проектировании АС каскадного типа многие специалисты рекомендуют делать более быстрым внутренний контур автоматического регулирования, что позволяет упростить настройку основного регулятора АС.

Другим вариантом является использование во внутренних контурах *SMART*-алгоритмов. Для решения этой задачи часто используются алгоритмы с внутренней моделью. В этом случае необходимо, прежде всего, обеспечить такое взаимодействие внутреннего и основного контуров управления, которое бы минимизировало влияние нелинейности коэффициента передачи внутреннего контура управления, связанного, например, с приводами постоянной скорости исполнительных устройств (асинхронными двигателями электропривода).

САР с использованием модельной оценки $M(s)$ технологического параметра объекта $P(s)$ для формирования обратной связи показана на рис. 2.31. Такие структуры называют *IMC (Internal Model Control)*. Принцип управления с использованием внутренней модели опирается на то, что контроль может быть достигнут тогда, когда система управления инкапсулирует, явно или неявно некоторое описание особенностей (представление) процесса, которые подлежат контролю.

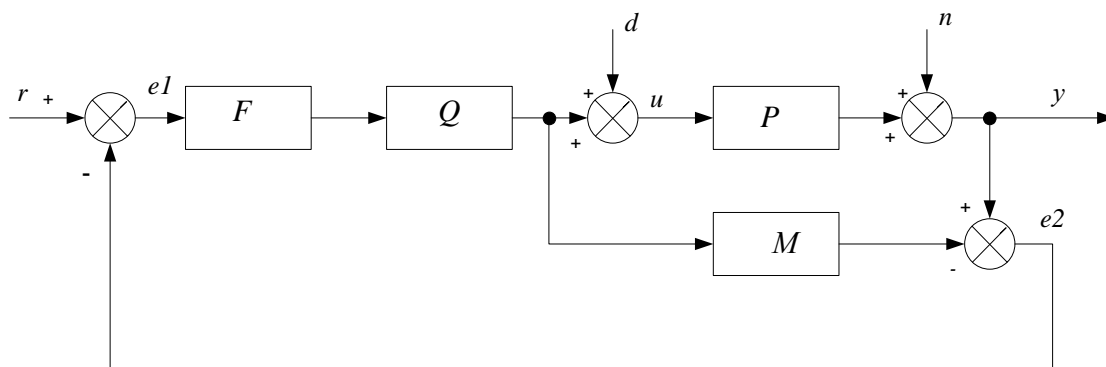


Рис. 2.31. Регулятор с внутренней моделью

IMC-регулирование имеет сходство с *САР*, использующими косвенные измерения регулируемого параметра. Такое регулирование называют *Inferntial Model Control*. Возможность получения необходимой информации для управления технологическим параметром АС с использованием косвенного измерения обеспечивается оценкой технологического параметра на основе измерений недорогими датчиками. При этом для формирования входного сигнала регулятора используется как первичный сигнал измеряемого параметра управляемого процесса, так и его косвенная оценка (рис. 2.32).

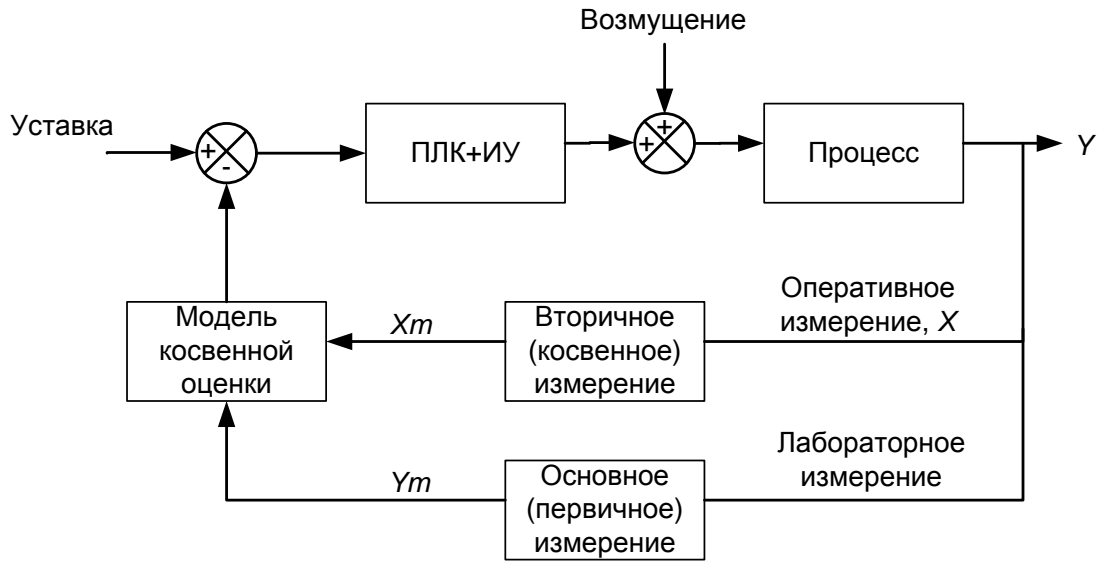


Рис. 2.32. Регулятор на основе косвенного измерения переменной процесса

Модели в алгоритмах применяют также при регулировании технологических параметров объектов с транспортной задержкой τ . Для управления объектами с большой транспортной задержкой, обычно при $\frac{\tau}{\tau+T} > 0,2 \dots 0,5$, где T – постоянная времени объекта управления, используют специальные структуры ПИД-регуляторов, содержащие модельные блоки M_0 для предсказания поведения объекта через время τ (предиктор). Такое регулирование иногда называют – «на основе предиктора Смита» (рис. 2.33).

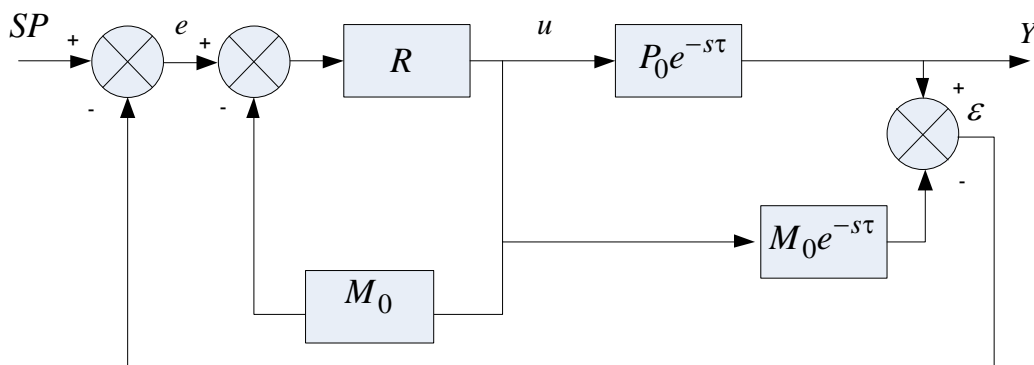


Рис. 2.33. Регулятор Смита

Это еще один специальный вид управления с использованием модели. Поставщики контроллеров часто включают предиктор Смита в базовую поставку промышленных ПИД-регуляторов.

Цель предиктора Смита – предсказать, какой сигнал появится на выходе объекта до того, как он там появится на самом деле. Для предсказания можно использовать модель объекта управления, состоящую из дробно-рациональной части M_0 и транспортной задержки $e^{-s\tau}$. Благодаря тому, что из модели можно исключить задержку, появляется принципиальная возможность косвенной оценки поведения объекта до появления сигнала на его выходе.

Такая возможность может реализоваться САР, имеющей структуру, показанной на рис. 2.33. Здесь R – обычный ПИД-регулятор, $P_0e^{-s\tau}$ – передаточная характеристика объекта управления.

Принцип работы САР с таким алгоритмом состоит в следующем: предположим, что модель абсолютна точна. Тогда разность сигналов на выходах модели и объекта будет равна нулю, $\varepsilon = 0$. Но в таком случае непосредственно из рис. 2.33 можно получить $y = P_0e^{-s\tau} \left(\frac{R}{1 + RM_0} \right) SP$.

В этом выражении член $\frac{P_0R}{1 + P_0R}$ представляет собой передаточную функцию системы без транспортной задержки. А это значит, что звено с транспортной задержкой не входит в контур обратной связи и не влияет на устойчивость и быстродействие системы, т.е. происходит регулирование в контуре с моделью без задержки, а транспортная задержка только добавляется к полученному результату.

Одна из новых модификаций системы управления с предиктором Смита показана на рис. 2.34. Алгоритм отличается наличием двух моделей, которые используются автоматически, основываясь просто на пропорциональном и интегральном преобразованиях в контроллере.

В такой структуре PI -контур модельного управления позволяет значительно уменьшить влияние запаздывания по сравнению со стандартными PI -управления.

Недостатком такой САР является то, что, так же, как и для стандартного ПИД-регулятора, необходимо настраивать три параметра: пропорциональную составляющую, интегральную и оценку задержки, что приводит на практике к большим трудностям.

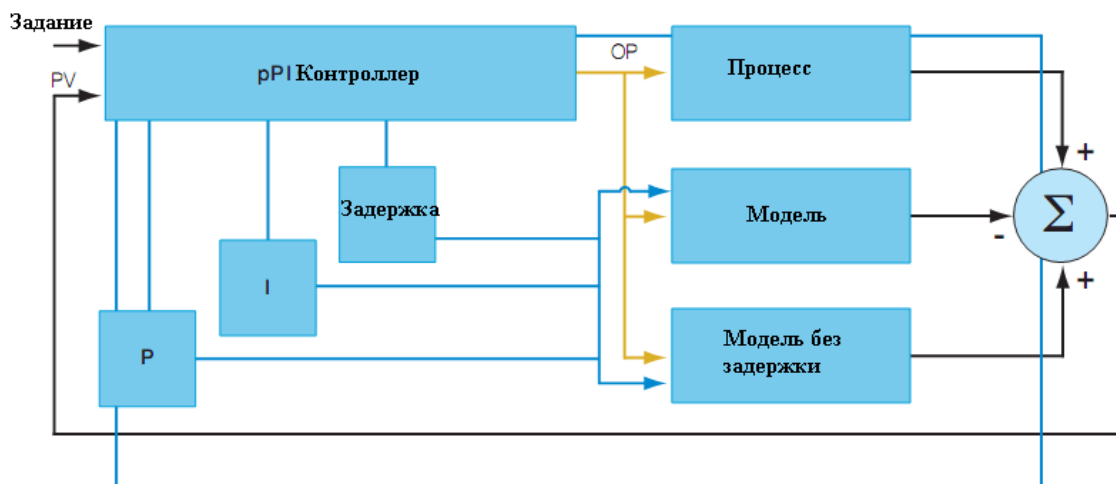


Рис. 2.34. Усовершенствованный регулятор Смита

Некоторым достоинством САР с внутренней моделью является возможность настройки ее робастности независимо от ПИД-параметров регулятора. Регулятор с внутренней моделью может дать очень хорошую реакцию на изменение уставки, однако реакция на внешние возмущения может оказаться слишком медленной.

Важной задачей каскадного управления является совершенствование позиционного регулирования клапана (задвижки).

Позиционное управление клапаном перекрытия потока рабочего вещества часто называют *Valve Position Control*. С использованием такого регулирования могут решаться важные задачи по снижению эксплуатационных издержек трубопроводного транспорта. Так, в случае частотно-управляемой насосной станции показателем издержек может быть потребление электрической энергии основным насосом, создающим регулируемый поток. Одновременное управление давлением в трубопроводе, и позиционно регулирующим клапаном (задвижкой), и частотно-управляемым насосом позволяет снизить энергопотребления на разгон/торможение вращения привода насоса и, следовательно, обеспечивать снижение потерь потребления энергии в динамических режимах регулирования.

Другой задачей *Valve Position Control* является минимизация частоты перемещений РО. Это позволяет увеличить срок его службы.

Single-Input, Multiple-Output (SIMO). В таких структурах ОУ имеет несколько переменных, характеризующих состояние объекта. Регулятор осуществляет управление этими переменными с использованием одного исполнительного устройства.

Регулирование в структурах *SIMO* часто реализуется с использованием *Override control*, при котором один регулятор обслуживает несколько каналов (контуров) регулирования (рис. 2.35).

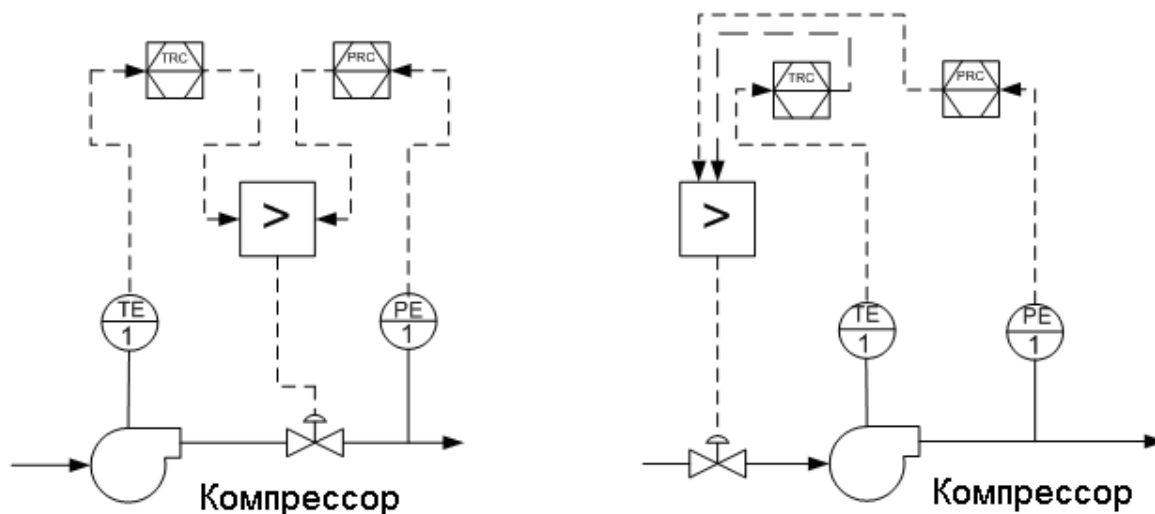


Рис. 2.35. Управление ОУ замещением регулируемого параметра

Его применение часто вызвано тем обстоятельством, что, при нормальном режиме работы, управление осуществляется на основе измерений некоторого параметра процесса. В случае возникновения ненормальности для управления включается контур регулирования с измерением другого параметра процесса, который и осуществляет управление возникшей ненормальностью.

Для решения подобных задач может использоваться также селективное управление (*Selective control*), которое позволяет управлять объектом с несколькими выходами с помощью переключения (рис. 2.36).

В этих приложениях алгоритм должен самостоятельно решить, как осуществить выбор. Типичной задачей при этом является реализация легкого и плавного перехода при переключении (рис. 2.37).

Примерами избирательного регулирования могут быть:

- выбор по минимуму;
- выбор по максимуму;
- программное переключение (например, при изменении рецептуры).

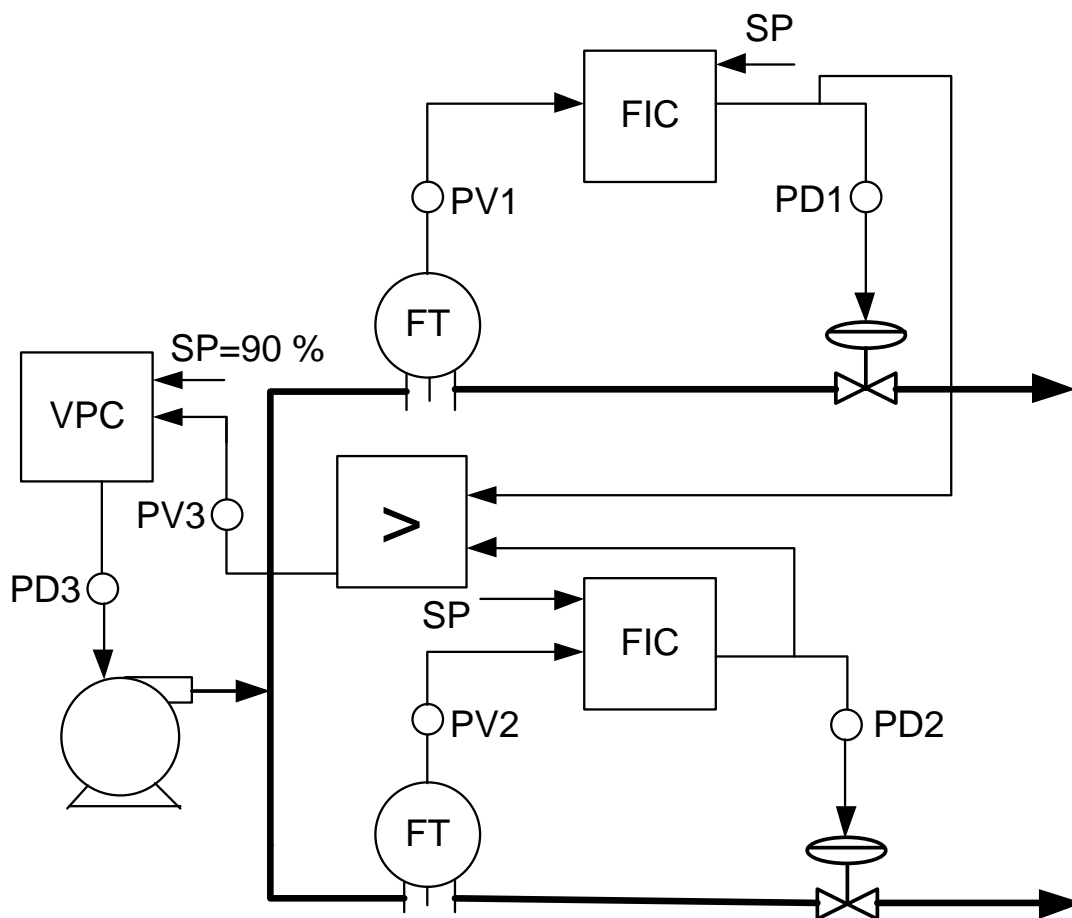


Рис. 2.36. Селектор по превышению подачи воздуха в контурах регулирования задвижками, снижающими подачу воздуха компрессором

Auctioneering control является управляющей структурой, где «худшее последствие» из набора измерений нескольких выходов объекта управления должно выбираться для активного контроля, т.е. выбирается тот параметр ОУ, измерение которого имеет наибольшую ценность для эксплуатации процесса.

Этот тип структуры управления особенно часто встречается при регулировании температуры на высокой колонне, где ее значение по всей высоте колонны будет изменяться, и позиция с самой высокой температурой зависит от условий эксплуатации. Поэтому используются несколько измерительных устройств температуры по высоте колонны, и значение самой высокой температуры выбирается в качестве регулируемой переменной (рис. 2.38).

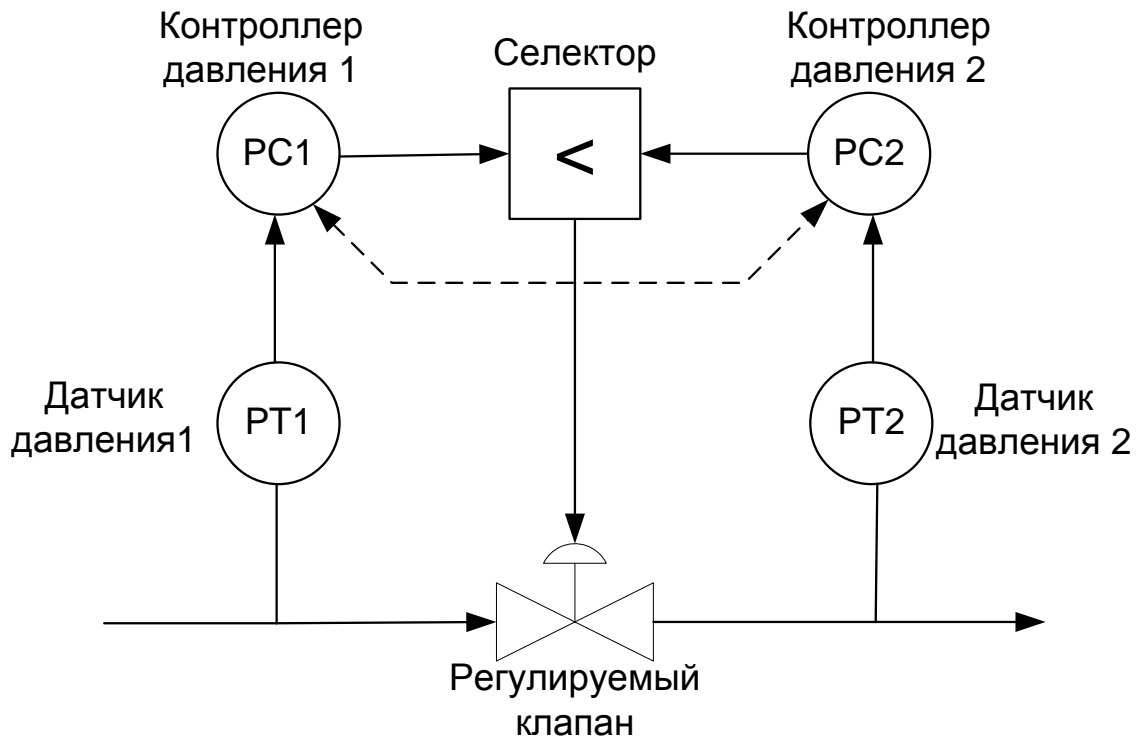


Рис. 2.37. Селективное управление по давлению

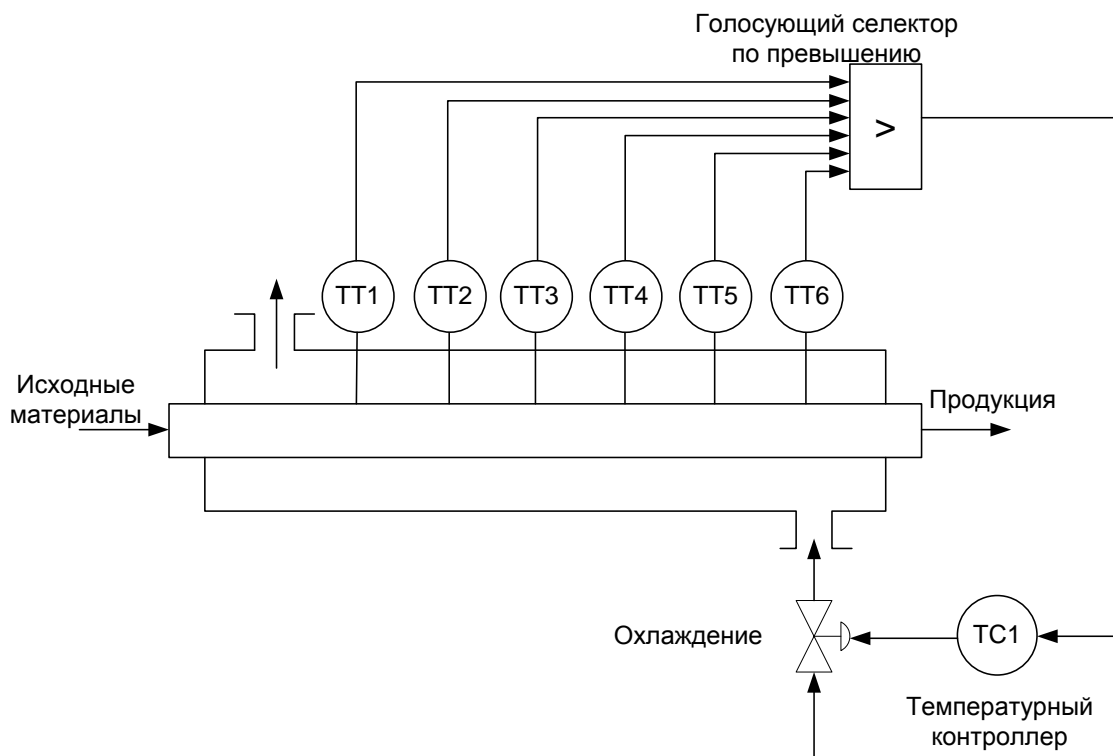


Рис. 2.38. Аукционный алгоритм управления температурой

MISO. Алгоритм в такой структуре САР использует один выходной сигнал измерительного устройства (например, температуру) объекта управления и затем с помощью двух исполнительных устройств (обогревателем и вентилятором для охлаждения) осуществляет управление технологическим объектом.

Примером *MISO* структуры может быть регулятор с отдельными границами.

Split-range control. С помощью регулирования с отдельными границами регулятор на основе измерений одного параметра объекта может обслуживать параллельно или последовательно несколько исполнительных устройств с различными принципами действия и различными коэффициентами передачи (рис. 2.39). Часто с его использованием решаются задачи точного и грубого управления объектом путем реализации САР переменной структуры. Разделение области установки регулятора для верхнего и нижнего пределов выполняется с помощью одной или нескольких функций разделения границ.

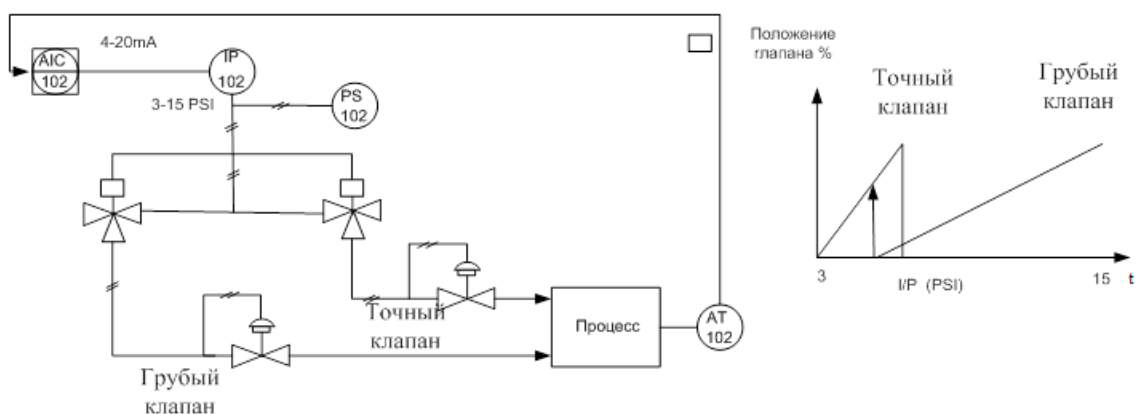


Рис. 2.39. Управление двумя исполнительными устройствами с разделением границ

Поскольку эти функции в различных приложениях должны удовлетворять различным требованиям, то программное регулирование реализуется в виде отдельных функций, выход каждой из которых просто подключается к управляющему воздействию регулятора. На рис. 2.39 приведены только две функции разделения границ, но таких функций параллельно может быть включено и больше.

Переключаемое регулирование применяется в процессах, в которых из-за состояния установки или процесса проявляются совершенно разное поведение объекта регулирования и, как следствие, для управления им необходимы разные регуляторы.

Примером *MISO*-структуры САР является структурное решение задачи регулирования отношений (*Ratio control*). Такая задача возникает тогда, когда важно поддерживать не абсолютные значения параметров, а соотношение между ними (рис. 2.40), например, если решается задача смешивания компонентов в заданных пропорциях при поддержке горения с заданным процентным содержанием кислорода в горючей смеси и т.п.

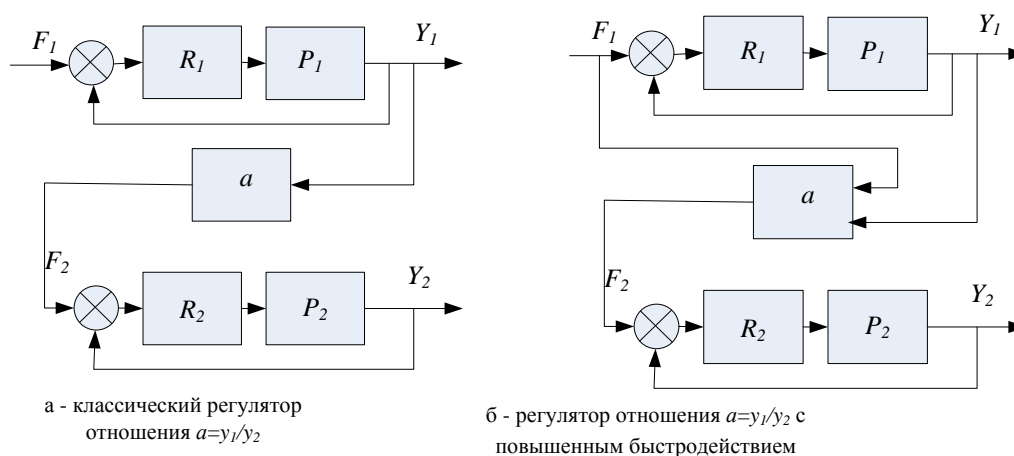


Рис. 2.40. Регуляторы отношений

Регулятор отношений работает с двумя различными величинами, которые должны быть приведены в установленное постоянное взаимное соотношение. Выполняемая часть уставки регулятора отношений есть безразмерная величина, определяющая коэффициент соотношения. Значение ведущей величины умножается на этот коэффициент и подводится как уставка к регулятору.

Структура такой САР может быть сведена к виду, показанному на рис. 2.40. Здесь первый регулятор поддерживает выходную величину y_1 равной значению уставки r_1 . Значение уставки второго регулятора пропорционально регулируемой величине первого регулятора: $r_2(t) = ay_1(t)$. Величина отношения устанавливается блоком a и может изменяться в соответствии с алгоритмом работы системы. Сигнал желательно брать именно с выхода системы y_1 , это повышает точность, поскольку $y_1(t)$ отличается от $r_1(t)$ на величину погрешности, которая в динамике может быть значительной. Кроме того, величина $y_1(t)$ всегда изменяется с некоторой задержкой относительно $r_1(t)$, поэтому величина $y_2(t)$ будет отставать по времени от желаемого значения $ay_1(t)$.

Смягчить эту проблему позволяет структура, показанная на рис. 2.40, б. Здесь блок a имеет два входа и описывается выражением

$$R_2(t) = a[\gamma R_1(t) + (1 - \gamma)y_1(t)],$$

где γ – параметр, определяющий вклад $r_1(t)$ или $y_1(t)$ в величину $r_2(t)$. При $\gamma = 0$ эти структуры идентичны.

Другим примером может быть следящая САР соотношения расходов воды/пара с коррекцией по уровню воды (рис. 2.41). Здесь *FRK-FC* – регулятор уровня; *FFRK-FFC* – регулятор пара, где *FRK* и *FFRK* – установленные величины отношений; 4 – барабан парового котла; 5 – исполнительный механизм.

Избирательное устройство (или избирательное управление) определяет, какой из участвующих регуляторов может получить управление исполнительным устройством САР. Термин избирательный регулятор точнее было бы заменить на «избирательная регулирующая структура». Во-первых, имеются различные виды избирательного регулирования, и, во-вторых, во всяком избирательном регулировании участвуют, по меньшей мере, два регулятора.

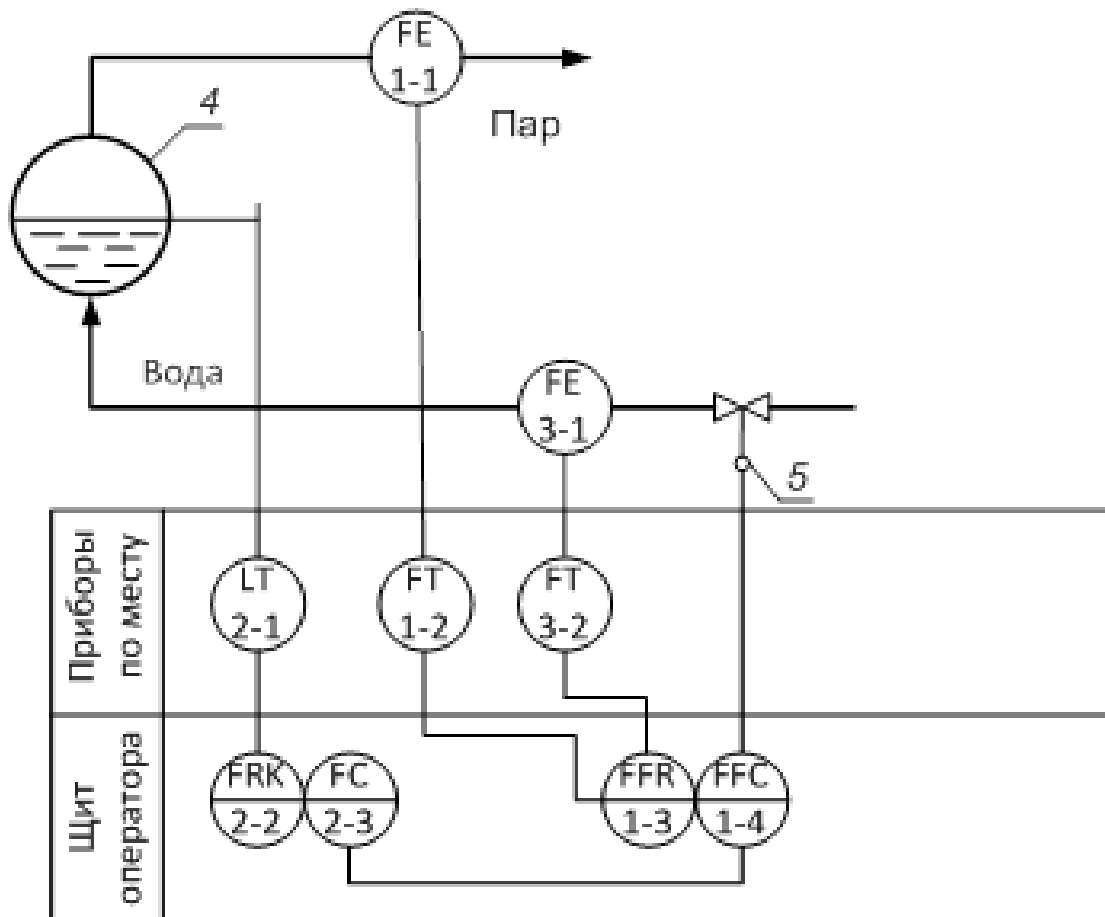


Рис. 2.41. Следящая САР соотношения расходов воды/пара с коррекцией по уровню воды

Еще одним примером *MISO*-структуры может быть регулятор с приоритетным выбором контура регулирования (рис. 2.42). Применяются и другие алгоритмы переключаемого регулирования *MISO*-структур, которые иногда называются ограничительным регулированием.

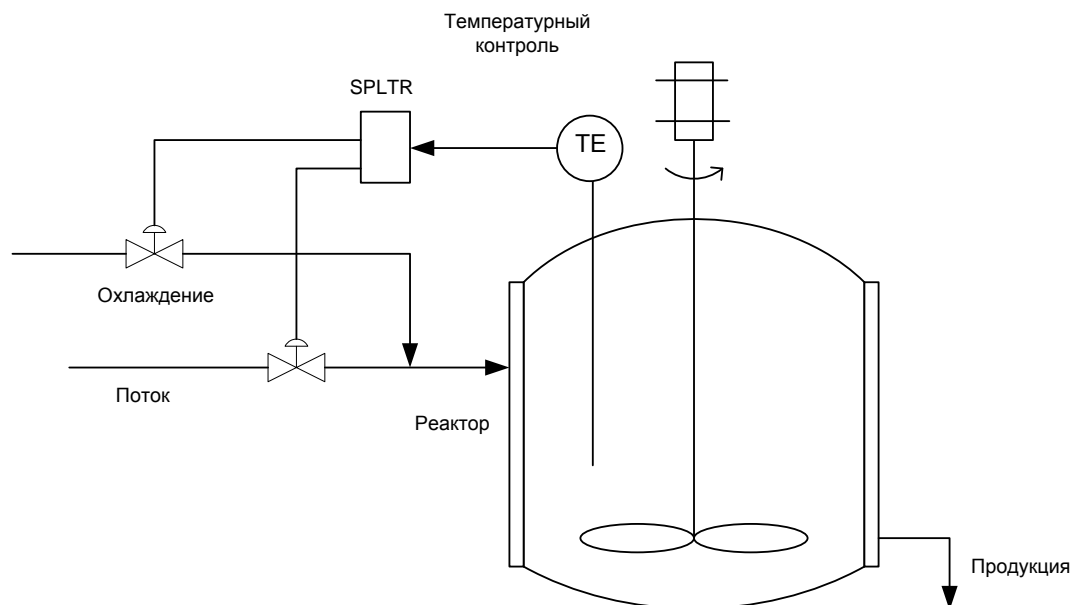


Рис. 2.42. Пример разделительного (*SPLTR*) управления температурой реактора

Parallel control. Параллельное управление подобно *Split-range control* в том смысле, что больше чем один физический канал регулирования используется для управления одной выходной переменной объекта. Однако, при параллельном избирательном регулировании, операционные пределы управлений разделены на разные частотные области.

Типичной мотивацией параллельного управления может быть требование быстрого управления регулируемой переменной при бюджетных ограничениях на *САР*. В этом случае в динамике *САР* быстрое управление, но ограниченное небольшим пределом изменений осуществляется регулятором с малой постоянной времени (малой инерционностью), а большие отклонения процесса управляются более медленным, но более простым ИУ.

Существуют различные способы реализации параллельного управления. На рис. 2.43, *а* и *б* показаны варианты включения различных типов регуляторов для достижения необходимого качества *САР*. Так, на рис. 2.43, *а* быстрое управление реализуется *PD*-контроллером, в то время как медленное, но более точное осуществляется *PI*-регулятором. На рис. 2.43, *б* медленное управление реализуется за счет ПИД регулирования на основе композиции двух регуляторов – ПИ и ПД.

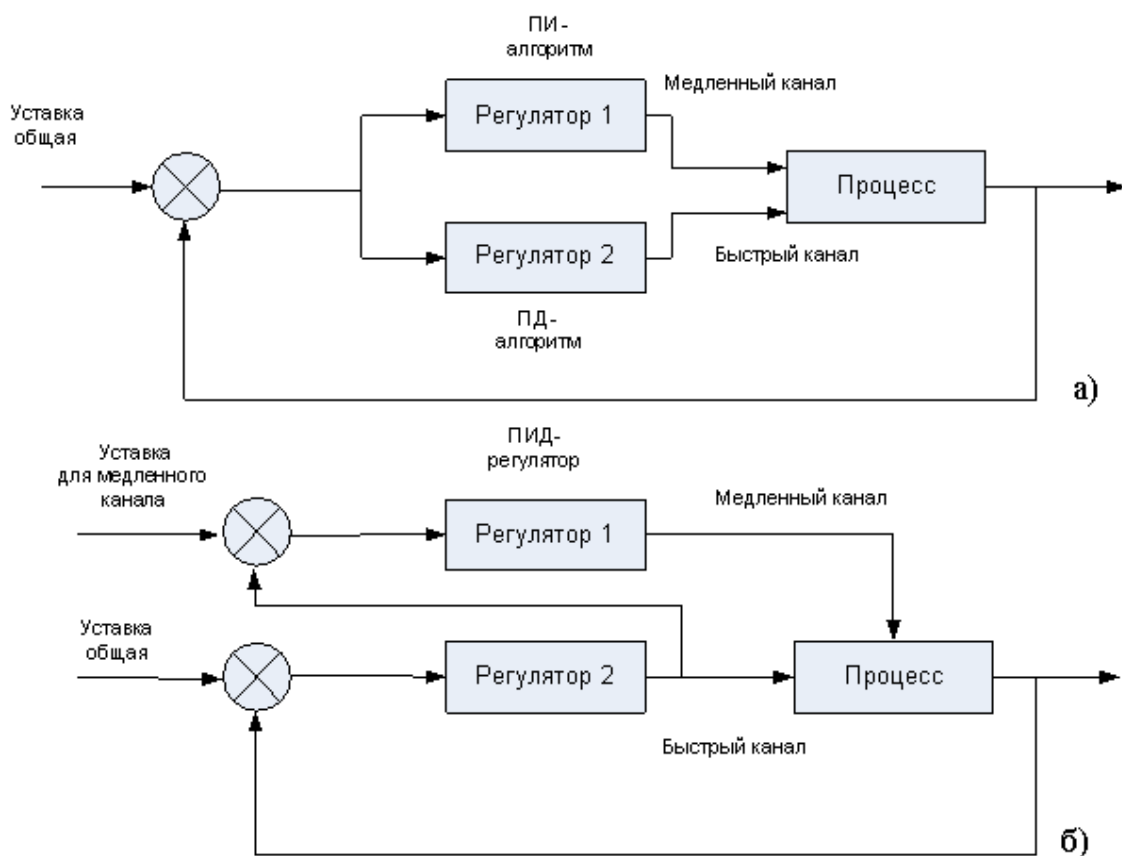


Рис. 2.43. Параллельные регуляторы САР:
 а – параллельное включение регуляторов;
 б – композиционное включение регуляторов

Достоинством такого типа регулирования является расширение динамического диапазона регулирования параметрами ОУ.

Добавление к измерению регулируемого параметра ОУ контроль его возмущений позволяет реализовать *FF-FB* – регулирование. *FF*-прямая связь позволяет скомпенсировать (упредить) изменчивость регулируемого параметра из-за возмущения быстрее, чем обратная связь, которая должна обнаружить ошибку как разность между управляемой величиной и управляющим воздействием. Метод прямой связи позволяет скомпенсировать возмущение до того, как оно пройдет через объект, а это существенно увеличивает общее быстродействие системы и исключает потенциальную неустойчивость процесса.

Однако при ее использовании в АС возникают следующие неудобства:

1. Возмущения должны быть измеримыми.
2. Кроме того, т.к. невозможно достаточно точно идентифицировать все возможные возмущения и точки их возникновения в процессе,

то возникают проблемы, связанные с нахождением модели процесса и его обратного оператора.

3. Неточность модели может вести к существенным ошибкам управления.

Вот почему на практике используют регулирование на основе одновременного использования обоих видов связи – *FF*- и *FB-control* (рис. 2.44).

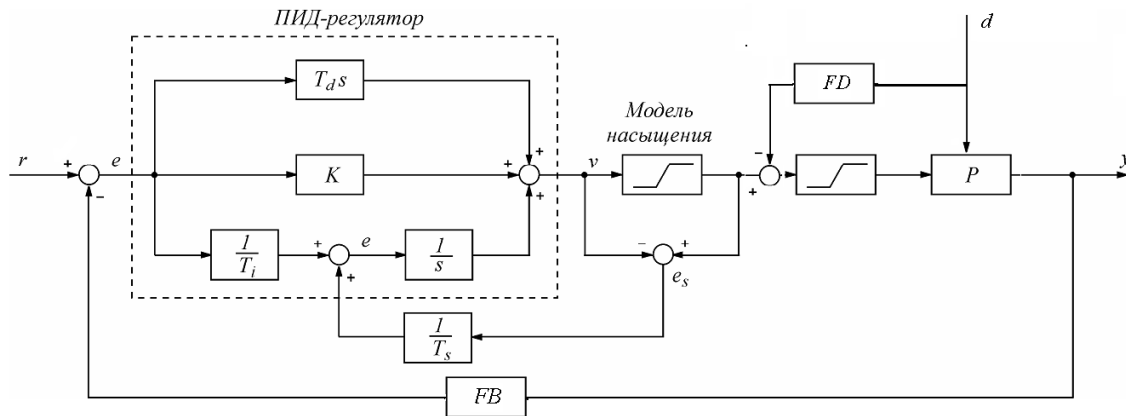


Рис. 2.44. Регулирование процессом с использованием прямой и обратной связями

Такое управление реализует компенсацию внешних возмущений с помощью прямой связи, и в то же время с использованием обратной связи обеспечивается универсальная системная возможность стабилизировать процесс.

Правильно настроенный контроллер с прямой и обратной связью позволяет ослабить влияние возмущений на управляемую переменную до 10 раз.

Процессы и технологические объекты с более чем одним входом и выходом называются многопараметрическими объектами управления *MIMO*.

На практике наиболее часто встречаются двухпеременные структуры. В НГО различают *P* и *V* типы двухпеременных структур объектов управления (рис. 2.45).

Примером *P*-типа объекта управления является смешивание горячей и холодной воды.

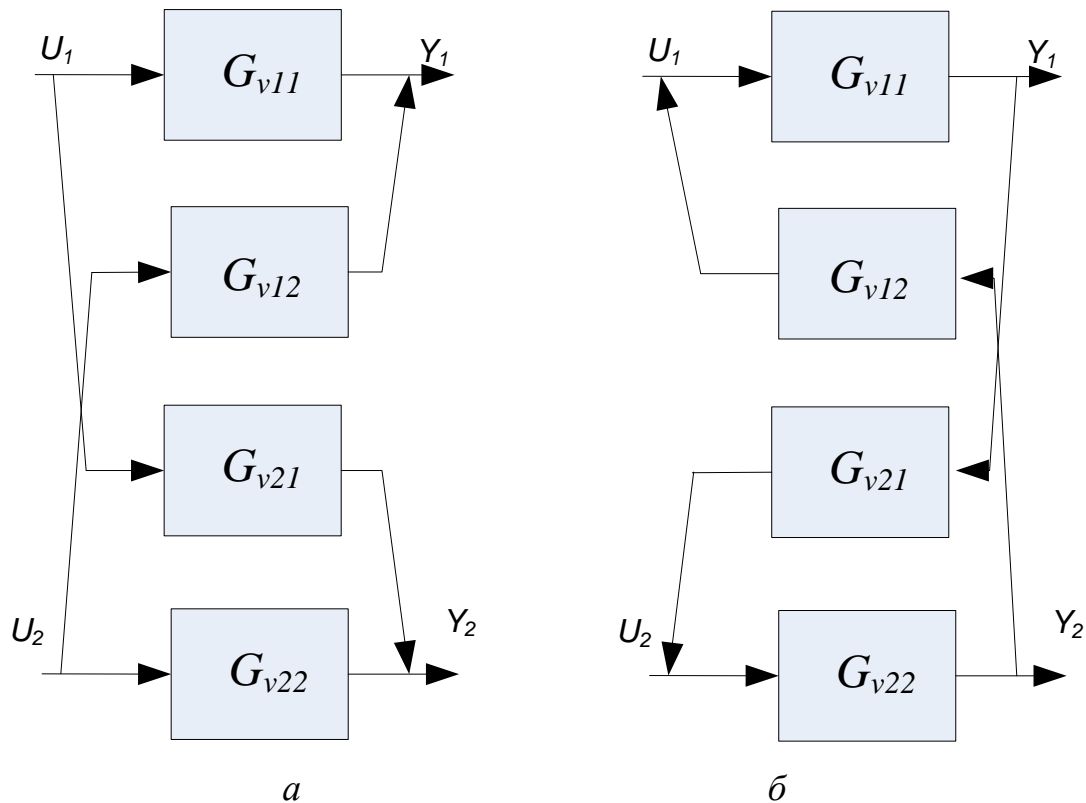


Рис. 2.45. Структура ОУ типа 2×2 :
 a – P -каноническая форма; b – V -каноническая форма

Примером V -типа является бойлерный нагрев воды (рис. 2.46).

Для обеспечения заданного качества регулирования таких объектов используются различные типы развязок ПИД-регулирования: для решения задачи развязки в P -объектах используется FF -развязка по прямой связи (по управлению, рис. 2.47), а для решения задачи развязки в V -объектах используется FB -развязка по обратной связи (по выходу). В общем случае наиболее применяемым является метод развязки (*Relative Gain Array*) каналов управления. Метод RGA обеспечивает информацию об управляемости и робастности $MIMO$ -системы/

В соответствии с развязкой RGA существующие перекрестные связи между регулируемыми переменными в объекте управления динамически разъединяются, и полученные таким образом несвязанные контуры управляются алгоритмами типа $SISO$, например, ПИД-регуляторами. Динамические методы прямой связи включают также подавление случайных возмущений.

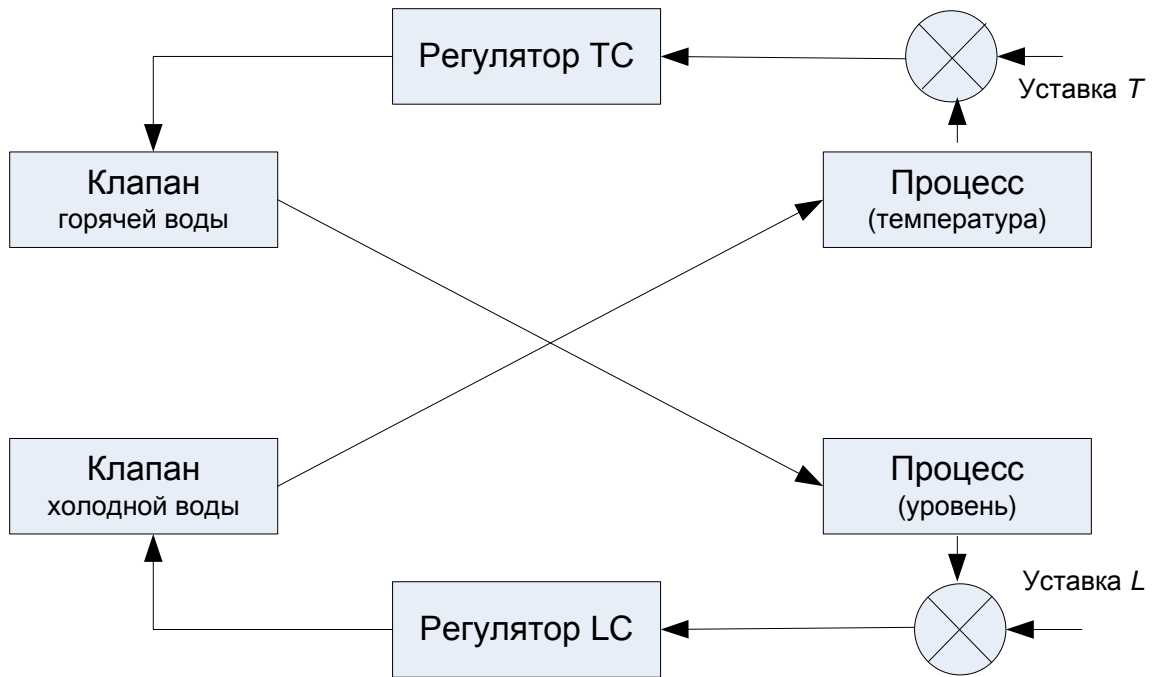


Рис. 2.46. Регулирование *MIMO*-типа

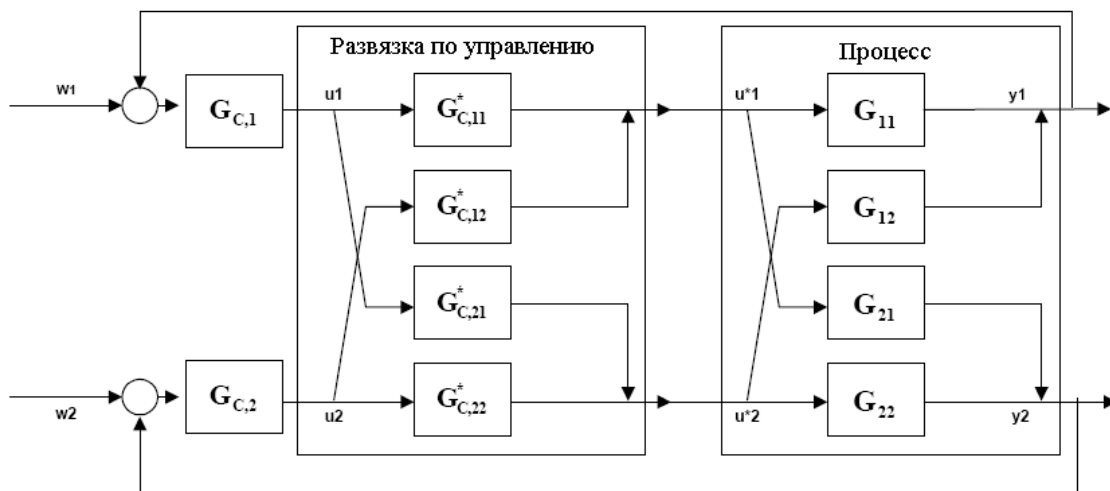


Рис. 2.47. *MIMO*-регулирование ОУ типа 2×2

Практически во всех перечисленных выше структурах *APC*-регуляторов при реализации алгоритмов используются ПИД-композиции.

ПИД-алгоритмы – это довольно широкий класс регулирования, состоящий из различных комбинаций, составляющих алгоритма: пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорцио-

нально-дифференциальный (ПД), пропорционально-дифференциальный дифференциальный (ПД²) и др.:

$$W_{\text{рег}}(p) = k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{p} + k_{\text{Д}}p = k_{\text{рег}} + \frac{T_{\text{И}}}{p} + T_{\text{Д}}p.$$

Эти комбинации могут быть получены несколькими способами (табл. 2.7). Выбор реализации зависит от решаемой задачи САР.

Таблица 2.7

Типы ПИД-алгоритмов

	Передаточная функция	Классическое описание	Блок-диаграмма
Идеальный	$Output = K_p \left(1 + \frac{1}{Ti(s)} + Td(s) \right)$	$Output = K_p \left[e(t) + \frac{1}{K_i} \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \right]$	
Последовательная	$Output = K_p \frac{\left(1 + \frac{1}{Ti(s)} \right) (1 + Td(s))}{1 + \frac{Td(s)}{Kd}}$	$Output = K_p \left[e(t) + \frac{1}{K_i} \int e(t) dt \right] \left[1 + K_d \frac{de(t)}{dt} \right]$	
Параллельная	$Output = K_p + \frac{1}{Ti(s)} + Td(s)$	—	

Параллельная структура легче настраивается по методу Циглера. Последовательная структура имеет меньший эффект, вызванный насыщением интегрирующей составляющей при выходе ПИД регулятора на ограничение выходного сигнала. Причем последний будет работать более эффективней именно в последовательности *PD-PI* регуляторов.

При цифровой реализации ПИД-алгоритма в случае, когда частота дискретизации недостаточно высока, появляются так называемые *алиасные частоты* в спектре квантованного сигнала. Аналогичный эффект возникает при киносъемке вращающегося колеса автомобиля. Частота *алиасного* сигнала равна разности между собственными частотами САР и частотой дискретизации. При этом высокочастотные составляющие измерений в САР смещаются в низкочастотную область, где они накладываются и искажают измеренный сигнал, что создает большие проблемы, поскольку отфильтровать их на этой стадии невозможно.

Для устранения *алиасного* эффекта перед входом аналого-цифрового преобразователя обычно устанавливают аналоговый фильтр, который ослабляет его, по крайней мере на порядок, на частоте, равной половине частоты дискретизации. Обычно используют фильтр Баттерворта второго или более высокого порядка. Другим вариантом решения

проблемы является увеличение частоты дискретизации так, чтобы она, по крайней мере, в 2 раза (согласно теореме Котельникова), была выше максимальной частоты спектра частот САР.

Это позволяет применить после дискретизации цифровой фильтр нижних частот. При такой частоте дискретизации полученный цифровой сигнал с точки зрения количества информации полностью эквивалентен аналоговому, и все свойства аналогового регулятора можно распространить на цифровой. На объектах НГО этот эффект проявляется редко т.к. инерционность ОУ велика по сравнению с периодом опроса, который часто задается регламентными требованиями предприятий.

Однако при разработке программного кода алгоритма следует ориентироваться на цифровую модель этого алгоритма в виде

$$u(k) = \left[e(k) + \frac{1}{T_i \sum_{i=0}^k e(i)T_k} + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_k} \right],$$

где $e = y - y_{\text{зад}}$ – ошибка регулирования;

$K = 1, 2, 3$ – номер периода квантования;

T_k – величина периода квантования.

Существует рекомендация ISA по структурной реализации ПИД в виде *DOF*-алгоритма (алгоритма с двумя степенями свободы с управлением, как посредством задания, так и управлением через обратную связь):

$$C(s) = pid(K_p, K_i) = K_p + \frac{K_i}{s};$$

$$F(s) = \frac{bK_p s + K_i}{K_p s + K_i};$$

$$u(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) e(s) - K_p \left(\frac{T_d s}{1 + (T_d / N) s}\right) y(s);$$

$$C(s) = pid(K_p, K_i) = K_p + \frac{K_i}{s}.$$

Особенностью регулирования с использованием такого алгоритма является возможность одновременного управления объектом, как со стороны контура обратной связи, так и со стороны командного задающего канала.

Anti-Windup – это специальное управление ПИД-регулятором. В установившемся режиме работы и при малых возмущениях ПИД-регуляторы являются линейными.

Однако процесс выхода ОУ на рабочий режим практически всегда требует учёта нелинейности типа «ограничение». Эта нелинейность связана с естественными ограничениями на мощность, скорость, частоту вращения, угол поворота, площадь поперечного сечения клапана, динамический диапазон и т.п. Контур регулирования в предельных режимах достигает насыщения и оказывается разомкнутым, поскольку при изменении переменной на входе звена с ограничением его выходная переменная остаётся без изменений. И это сказывается неблагоприятным образом на качестве автоматического регулирования.

Типовым проявлением управляющего ограничения в реальных ПИД-регуляторах является так называемое «интегральное насыщение», которое возникает в процессе выхода САР на рабочий режим в регуляторах с ненулевой постоянной интегрирования $T_i \neq 0$.

Суть проблемы интегрального насыщения состоит в том, что если сигнал на входе объекта управления $u(t)$ входит в зону сигнального насыщения (ограничения), то при сигнале рассогласования $[r(t) - y(t) \neq 0]$ не равным нулю, интегратор из-за возникшего ограничения этот сигнал не будет воспринимать и, следовательно, интегрирующая составляющая алгоритма оказывается «замороженной».

Интегральное насыщение приводит к затягиванию переходного процесса и даже к потере устойчивости. Аналогичный эффект возникает вследствие ограничения выходного сигнала регулятора. На практике под интегральным насыщением понимают совокупность эффектов, связанных с нелинейностью типа «ограничение».

Методы устранения интегрального насыщения (*Anti-Windup*) обычно являются предметом изобретений, относятся к коммерческой тайне фирм-производителей регуляторов и защищаются патентами.

Когда управляющее воздействие на объект достигает насыщения, и обратная связь разрывается, одним из методов устранения этого эффекта является слежение контроллером за величиной управляющего воздействия на объект. Так, в случае ПИ- или ПИД-управления, как только интегрированная составляющая алгоритма достигает насыщения, контроллер вводит программный запрет на ее использование и осуществляется переконфигурирование алгоритма в П или ПД формат управления.

Эффект интегрального насыщения можно ослабить, так же путем отслеживая состояние исполнительного устройства, входящего в насы-

щение, и компенсируя сигнал, подаваемый на вход интегратора. Структура системы с таким компенсатором показана на рис. 2.48.

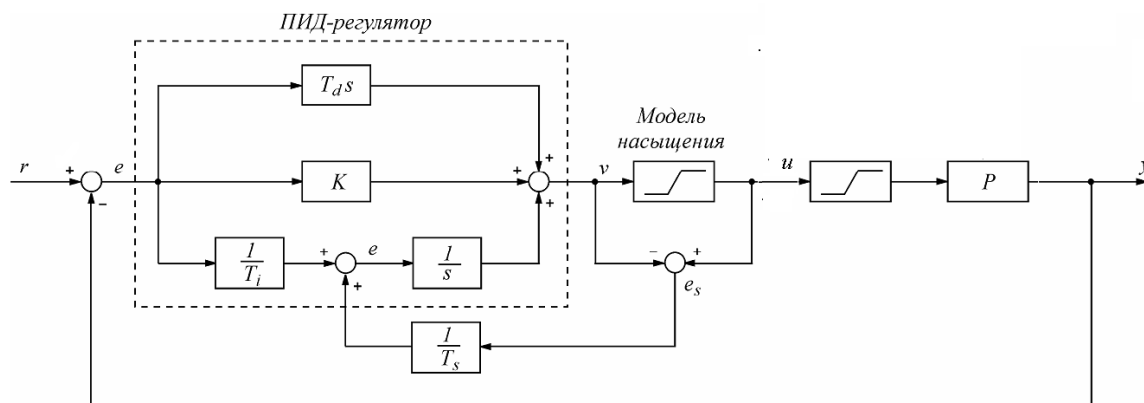


Рис. 2.48. Компенсация эффекта интегрального насыщения с помощью дополнительной обратной связи для передачи сигнала ошибки на вход интегратора

Принцип работы этой схемы [1] состоит в следующем: в системе вырабатывается сигнал рассогласования между входом и выходом исполнительного устройства ($e_s = u - v$). Сигнал на выходе исполнительного устройства либо измеряют, либо вычисляют, используя математическую модель (рис. 2.48). Если $e_s = 0$, это эквивалентно отсутствию компенсатора, то реализуется обычный ПИД-регулятор. Если же исполнительное устройство входит в насыщение, то $v > u$ и $e_s < 0$. При этом сигнал на входе интегратора уменьшается на величину ошибки e_s , что приводит к замедлению роста сигнала на выходе интегратора, уменьшению сигнала рассогласования и величины выброса на переходной характеристике системы (рис. 2.48).

Ключевым вопросом в использовании ПИД-регулятора был и остается вопрос настройки его коэффициентов. Первоначально этот вопрос решался с помощью человека-оператора, который, используя свои знания и опыт, а также интуицию, производил настройку ПИД-регулятора, опираясь на методы расчета коэффициентов регулятора, например, Циглера-Никольса. Впоследствии с появлением компьютеров и программируемых логических контроллеров (ПЛК), SCADA-систем и распределенных систем управления (РСУ) появились методы автоматической настройки (автонастройки) ПИД-регуляторов.

Tuning (настройка) ПИД-регуляторов. В процессе эксплуатации, настроенные ПИД-регуляторы, могут снижать качество управления объектом, что обычно связано с изменениями его статических и дина-

мических характеристик. Для обеспечения необходимого качества регулирования используют либо адаптивные регуляторы, либо осуществляется их периодическая настройка (*Tuning*).

Для отслеживания этих изменений используется периодическая идентификация изменений САР (рис. 2.49). При этом в первую очередь обращают внимание на постоянные времени (инерционность) и транспортные задержки отдельных компонентов САР (рис. 2.49). Значения этих параметров можно определить с использованием сигналов разгона отдельных компонентов. Для этого используется или ступенчатый пробный сигнал, или прямоугольный импульс заданий. Упрощенно в таких схемах контроля изменений динамический процесс возбуждается единичным скачком на входе в период времени между управлением. Во время идентификации не допускается вмешательство автоматического или ручного управления.

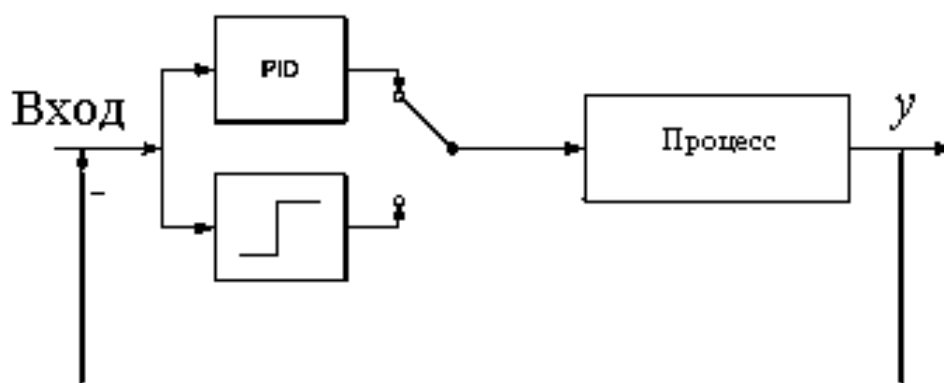


Рис. 2.49. Схема снятия переходного процесса ОУ

Традиционные контроллеры АС, управляющие на основе обратной связи, работают путем формирования сигнала для регулирующего воздействия в ответ на изменение разницы между регулируемой и заданой уставкой системы. Это является существенным недостатком, так как обязательным является наличие ошибки регулирования.

МРС алгоритмы САР. Регулирование с упреждением на основе модели (*МРС*) является методом, позволяющим корректировать управляющее воздействие прежде, чем появится изменение регулируемой величины. Эта прогнозирующая возможность позволяет контроллеру реализовывать при наличии ресурсных ограничений близкое к оптимальному управление технологическим процессом. В интегрированных компьютерных системах управления *МРС* используют в дополнение к ПИД-контроллерам. В этих АС ПИД-регуляторы используются в ка-

честве одноконтурных контроллеров, а *MPC*-регулятор в качестве *smart*-системы, обеспечивающей оптимизацию управления процессами в реальном масштабе времени. Примерами их применения является управление добычей на малодебитных месторождениях, интегрированное управление нефтехимическими производствами и др.

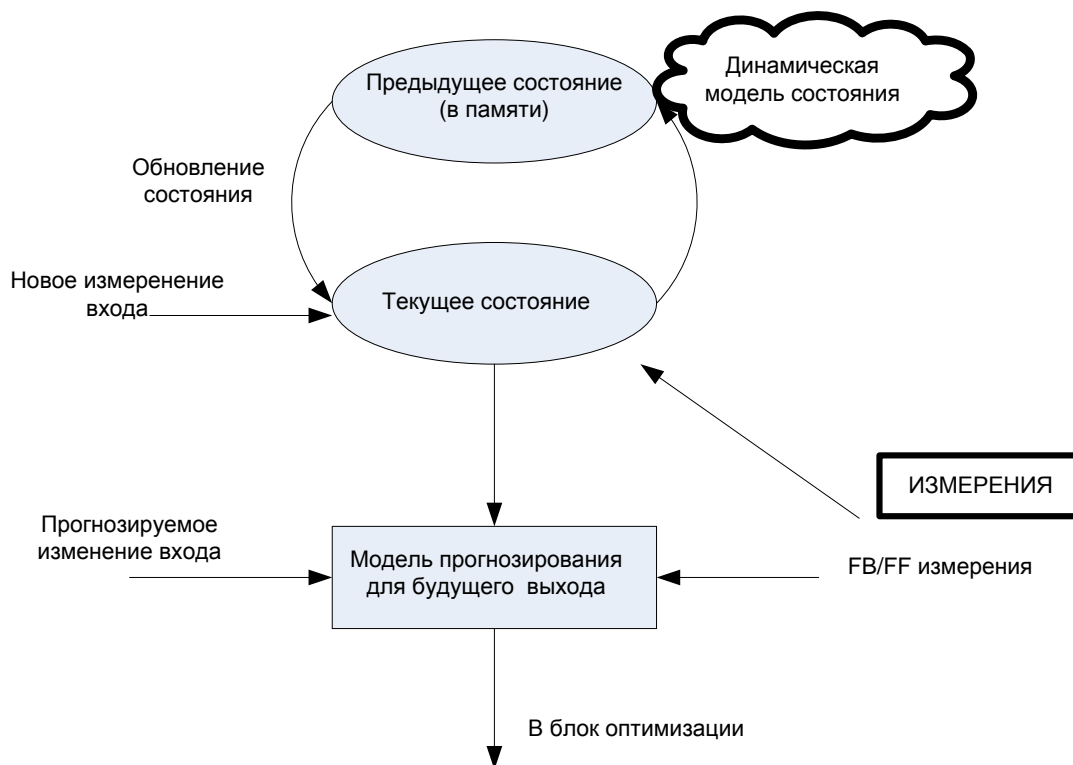


Рис. 2.50. Последовательность изменения состояния *MPC*-управления

Принцип работы *MPC* заключается в следующем. Экспериментальным или аналитическим путем определяется динамическая модель объекта, учитывающая регулируемые величины, управляющие воздействия и возмущения. Для задаваемого технологического или экономического критерия оптимизации определяется оценочный параметр, который в последующем используется регулятором для формирования управляющего воздействия. На каждом шаге (такте) периода опроса состояния ОУ регулятор *MPC* получает из технологического процесса текущие значения регулируемых величин и наблюдаемых возмущений и вводит их в динамическую модель объекта управления (рис. 2.50, 2.51).

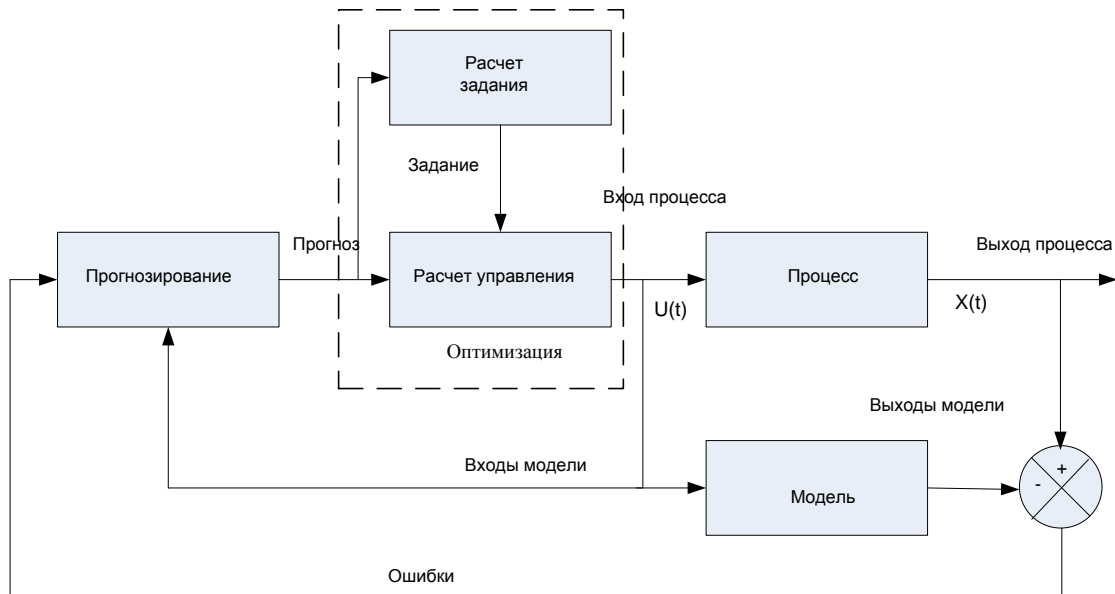


Рис. 2.51. Структурная схема прогнозирующего управления

MPC-алгоритм вычисляет по этой модели значения выходных переменных процесса, которые представляют собой прогноз поведения ОУ на горизонте прогнозирования. Во встроенном модуле нелинейного, линейного или квадратичного критерия оптимизации с соблюдением ограничений рассчитываются управляющие воздействия на определенное число тактов управления вперед в горизонте управления (рис. 2.52). Рассчитанным управляющим воздействием исполнительный механизм управляет регулируемым параметром так, чтобы достичь целевого значения. На следующем такте эти действия повторяются со сдвигом вперед на один такт в горизонте управления. Оптимизация повторяется в каждом периоде выборки с обновленной информацией от процесса.

На рис. 2.52 показаны:

Задание – установленная траектория, по которой должен следовать выход в идеале.

Предсказанное поведение процесса – рекомендуемая траектория, вдоль которой значение выхода объекта должно достигнуть k -шага.

Программное управление – значения управления на каждом шаге вычисления.

Горизонт управления H_0 – это временной интервал, измеряемый числом шагов H_0 прогнозирования управляющих переменных процесса, на котором *MPC* вычисляет их каждый раз, чтобы устранить текущую ошибку предсказания. Большой период H_0 имеет то преимущество, что он позволяет обнаружить нарушения ограничений, прежде чем они будут достигнуты, усредняет объективный контроль с течением времени и позволяет обрабатывать неизвестные переменные задержки времени.

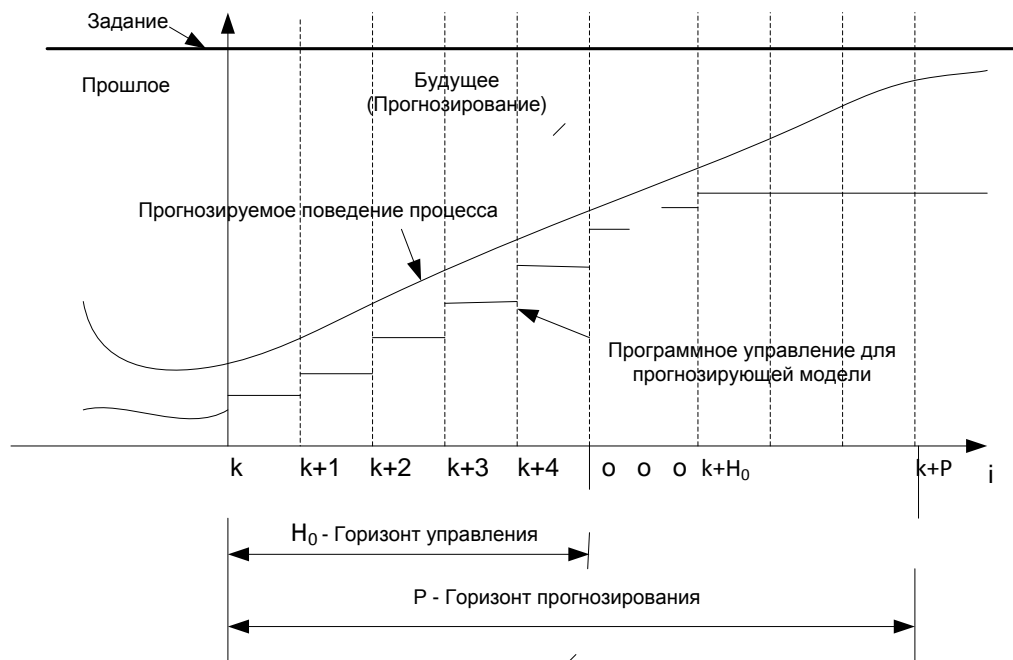


Рис. 2.52. Принцип работы алгоритма прогнозирующего управления

Горизонт прогнозирования P , представляет собой интервал, измеряемый числом выборок P будущего поведения выходной переменной, на котором MPC вычисляет профиль предсказания процесса и минимизирует ошибку предсказания. Обычно выбирают $P > H_0$, чтобы избежать влияния зон нечувствительности. Увеличение P , может привести к значительной колебательности процесса. Чем меньше горизонт прогнозирования, тем легче решать оптимизационную задачу на каждом шаге рассматриваемой схемы управления с предсказанием. Тем не менее, этот параметр характеризует не наши субъективные желания или потребности, а объективные свойства рассматриваемой системы. Дальше определённого предела поведение системы нельзя спрогнозировать в принципе. В каждой системе этот предел свой и он не бесконечен.

В зависимости от особенностей объектов управления различают линейные и нелинейные MPC -регуляторы.

Линейные MPC. САР на основе таких регуляторов описываются уравнениями

Квадратичный
критерий оптимизации

$$\sum_{i=0}^P x_i^T Q x_i + \sum_{i=0}^{m-1} u_i^T R u_i$$

Линейный
объект управления

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k$$

$$y_k = Cx_k$$

где Q и R положительно определенные симметричные матрицы, A , B , C матрицы постоянных коэффициентов векторов состояния ОУ, управления и измерения, p и m – горизонты предсказания и управления. Оптимизатор рассчитывает рабочую точку исходя из ограничений как экономических, так технологических факторов и использует при расчете задаваемый разработчиком функционал расчета (для линейных MPC это чаще всего квадратичный функционал), а регулятор рассчитывает последовательность управляющих воздействий для достижения рабочей точки на горизонте прогнозирования.

Поставщиками линейных MPC регуляторов являются:

- *DMCplus* и *DMCplus-Model*, компания *Aspentech*.
- *Robust MPC Technology (RMPCT)*, компания *Honeywell*.
- *Predictive Functional Control (PFC)*, *Hierarchical Constraint Control (HIECON)*, *GLIDE (Identification package)*, компания *Adersa Adcrsa*.
- *SMOC (SGS) (licensed from Shell)* и *Delta V Predict*, компания *MDC Technology (Emerson)*, *MPC-PRO Emerson* в контроллере *Delta V* вер. 8 и выше.
- *Connoisseur*, компания *Predictive Control Limited (Invensys)*.
- *PCS7 APC*, компания *Siemens*.
- *3d MPC*, компания *ABB*.

Их основные технические показатели похожи – это:

- линейные модели технологического процесса;
- возможность супервизорного вмешательства при плохой обусловленности технологического процесса;
- многокритериальный квадратичный функционал;
- управление подмножеством прогнозируемых значений для каждой регулируемой переменной, называемых совпадающими точками, которые выбираются из опорной траектории;
- пошаговые вычисления по каждой управляющей переменной;
- ограничения как мягкого, так и жесткого типов. Возможность ранжирования жестких ограничений в порядке приоритетности.

Промышленные регуляторы имеют различный набор настраиваемых параметров, среди которых основными являются:

- горизонт управления M ;
- горизонт предсказания P ;
- параметры опорной, задающей траектории;
- жесткие и мягкие ограничения на управляемые переменные и выходные переменные.

Для снижения влияния шума каналов измерения используют фильтр Калмана, настраиваемыми параметрами которого являются:

- ковариационная матрица и коэффициент усиления фильтра Калмана;
- значения весовых величин для выходных переменных, выходная, весовая матрица Γ ;
- значения весовых величин для управляемых переменных, входная весовая матрица Λ .

Входная весовая матрица Λ (диагональная матрица) характеризует коэффициент управляемости технологическим процессом, вес управления. Величины ее коэффициентов указывают на компромисс между балансом энергии в ТП, управляющими переменными (конструктивными особенностями исполнительных устройств) и скоростью, с которой отклонение регулируемой переменной от заданного значения уменьшается на горизонте прогнозирования. Коэффициент управляемости служит двойной цели: для подавления агрессивного действия управления и снижения потенциальной энергии переменных, характеризующих поведение ТП при переходе накопленной энергии в обратное состояние.

Весовая матрица Γ , используется в основном для масштабирования переменных в многопараметрических САР, где она доставляет назначение большего или меньшего веса для цели уменьшения предсказанной ошибки отдельных выходных переменных.

Хотя время выборки оказывает сильное влияние на характеристики управления, однако оно не используется в качестве параметра настройки, так как оно часто фиксируется базовым оборудованием (в частности, проектом АСУ ТП) при установке.

Нелинейные MPC. САР на основе таких регуляторов описываются нелинейными уравнениями.

Критерии оптимизации могут быть как линейными, квадратичными, так и нелинейными. Поставщиками нелинейных MPC-регуляторов являются:

- *Predictive Functional Control (PFC)*, компания *Adersa Adcrsa*.
- *Aspen Target*, компания *Aspen Technology*.
- *Multivariable Control (MVC): Linear Dynamics + Static Nonlinearity*, компания *Continental Controls*.
- *NOVA Nonlinear Controller (NLC): First Principles Model*, компания *DOT Products*.
- *Process Perfecter: Linear Dynamics + Static Nonlinearity*, компания *Pavilion Technologies*.

Промышленные регуляторы хотя и обеспечивают систематический учет ограничений, на практике не позволяют обрабатывать неосуществимые решения. Поэтому некоторые ограничения состояния и выходные ограничения могут привести к невозможности решения задачи оптимизации. Например, помехи на выходе могут вывести процесс из допустимой области так, что ни одна возможная последовательность сигналов управления из-за ограничений не сможет вернуть его обратно в ограниченную зону. В ряде случаев структура проблемы и степень свободы регулируемых переменных, доступных контролю, может изменяться динамически.

Известным системным решением таких задач является смягчение ограничений. Т.е. вместо того, чтобы рассматривать ограничения как жесткие границы, которые никогда нельзя пересекать, можно облегчить жесткость ограничений, например, позволив им иногда в случае необходимости пересекать их граничные значения. Многие ограничения управляющих сигналов в НГО, относятся к классу жестких ограничений (например, крайние положения задвижек) и нет никакого способа, позволяющего их смягчить, кроме как ограничив позиционирование привода управляющей переменной. В литературе и на практике исследованы случаи и приведены подробные объяснение того, как в задаче оптимизации можно использовать вместо жестких мягкие ограничения. В ряде случаев можно отказаться от выходных ограничений, которые являются причиной неосуществимости формирования управляющего воздействия. Такое решение реализуется, например, регулятором *MPC PRO* компании Эмерсон для рабочей станции *Deltav v.12*.

Во многих задачах управление с ограничениями становится невозможным из-за проблем нарушения жестких ограничений, что может быть результатом различных факторов в реальных производствах. Поэтому управление процессом может быть потерянным на короткое время, что будет сигнализировать аппаратный отказ и подключение действий оператора. Однако протокольные действия оператора по устранению этих несоответствий могут быть излишними, так как вход и выходы могут легко вернуться в управление в любой момент времени.

Отказоустойчивость – это также важная практическая проблема. Вместо того, чтобы просто выключаться, как только сигналы потеряны, практический регулятор *MPC* должен оставаться в онлайн режиме и пытаться сделать лучшее качество управления. Главным барьером для достижения этой цели является то, что хорошо обусловленный многовариантный процесс может содержать множество внутренней динамики с недостаточным качеством регулирования. Практический регулятор *MPC* должен выявлять и улучшать их динамику прежде, чем они приведут к неустойчивому действию управления.

Последовательность этапов внедрения МРС-регуляторов.

1. Изучение концепции САР. На основе обсуждения на месте и первых тестов на установке (например, при воздействиях скачка задания САР) оценивается реализуемость, а также техническая и экономическая эффективность алгоритма управления.

2. Построение модели. Систематическое возбуждение динамики процесса и измерение (архивирование) соответствующих откликов объекта регулирования. Для выбора стимулирующих сигналов используются результаты экспериментов со скачками. Определение в режиме *offline* (автономно) динамической модели процесса со множеством величин на основе запомненных измеренных данных. При этом параметры линейной независимой от времени математической модели процесса (например, дискретной во времени модели в пространстве состояний, матрицы передаточной функции или непараметрической модели импульсной реакции) согласовываются методами оптимизации с измеренными данными. Таким образом, не требуется теоретическое построение модели на основе физических и химических зависимостей, но соответствующие сведения иногда могут использоваться.

3. Проектирование регулятора. Существенная для регулятора информация уже содержится в модели процесса. Глобальные параметры, как, например, диапазон предсказания (насколько далеко смотрит регулятор в будущее?), уровень управления (насколько сложной и длинной должна быть последовательность управляющего воздействия?), а также расход энергии на управление (насколько «дороже» перемещения управляющего воздействия в сравнении с регулирующей разностью) – это может быть определено с помощью простых формул. Точная отладка регулятора выполняется на основе имитации с идентифицированной моделью.

4. Приемочное тестирование. Перед первым вводом в действие регулятора обсуждаются с персоналом его характеристики на основе моделирования. Для успешной приемки, наряду с доказательством нормального функционирования, должно обеспечиваться:

- плавное переключение различных видов работы,
- скачкообразные переключения уставки,
- отрегулирование определенных искусственно вызванных возмущений, а также автоматическое переключение в режим безопасности.

5. Обычная работа, наблюдение и обеспечение. Решающим для приемки новой концепции регулирования оператором установки является тщательная документация и обучение. Регулятор с предсказанием может только столь долго функционировать, пока поведение процесса соответствует математической модели. Подчиненные ПИД-регуляторы

должны быть также оптимизированы, чтобы избежать позднейших изменений динамики процесса. При больших перестройках установки должна быть определена новая модель процесса.

Экономическим эффектом от внедрения *MPC*-регулирования является повышение эффективности НГ производств. Ее обычно определяют как поддающуюся пересчету в денежный эквивалент (твердого эффекта) и неисчисляемую в денежной форме. Ключевым источником твердого эффекта являются низкое перерегулирование переходных процессов, увеличение производительности, снижение потребления энергоресурсов. К источникам неисчисляемого эффекта можно отнести снижение нагрузки на оператора при управлении технологическим процессом, дополнительную ценную информацию о ТП, которую дает АС инженерам технологам.

ПЛК-реализация алгоритмов САР. Для реализации перечисленных в этом разделе алгоритмов многие поставщики ПЛК предлагают использовать библиотеки готовых алгоритмов, например, *Standard Library PID Control* компании Сименс. Промышленное программное обеспечение *SIMATIC* – это система тесно связанных инструментальных средств конфигурирования, программирования, диагностики и обслуживания систем автоматизации на основе *SIMATIC S7/ WinAC*. Эти инструментальные средства содержат исчерпывающий набор функций, необходимых для всех этапов разработки и эксплуатации САР:

- планирование, проектирование, конфигурирование и настройка параметров аппаратуры и систем промышленной связи;
- разработка программы пользователя;
- документирование данных проекта;
- тестирование, отладка и выполнение пуско-наладочных работ;
- обслуживание систем автоматизации;
- управление процессом;
- архивирование данных.

Промышленное программное обеспечение *SIMATIC* разработано с учетом требований международных стандартов:

- *IEC 61131-3*, требованиям которого отвечают все языки программирования контроллеров *SIMATIC*. Это облегчает изучение программного обеспечения и позволяет снижать затраты на подготовку персонала;
- операционной системы *Windows* с ее графическими и объектно-ориентированными методами проектирования.

Унификация промышленного программного обеспечения *SIMATIC* базируется на трех основных принципах:

- общее управление данными: все данные проекта (например, символьные переменные, параметры конфигурации и настройки) хранятся в единой базе данных и доступны всем инструментальным средствам. Это позволяет экономить время и исключать возникновение ошибок из-за многократного ввода одних и тех же данных;

- согласованная система инструментальных средств.

Для каждой фазы выполнения проекта могут использоваться свои, наиболее удобные для выполнения этих задач, инструментальные средства.

Промышленное программное обеспечение нового поколения *TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)* для автоматизированного управления формирует интегрированную рабочую среду для быстрого и удобного решения всех задач автоматизации:

- конфигурирования аппаратуры и промышленных сетей;
- программирования контроллеров;
- разработки проектов приборов и систем человеко-машинного интерфейса;
- использования регулируемых приводов.

В перспективе в эту среду будет интегрироваться все новое промышленное программное обеспечение компании *SIEMENS*. В среде *TIA Portal* обеспечивается поддержка функций навигации проектов, единой концепции использования библиотек, централизованного управления данными, полной согласованности всех данных, запуска необходимых редакторов, сохранения проектов, системной диагностики и множества других функций.

Основным языком программирования сложных алгоритмов является *CFC*.

CFC (Continuous Function Chart) – это язык программирования, похожий на стандартный язык программирования *FBD*, позволяющий выполнять разработку систем автоматизации в графическом представлении.

Процесс проектирования сводится к извлечению из библиотеки необходимого набора программных блоков и их позиционированию на экране, установке необходимых соединений между блоками и настройке параметров блоков и соединений (рис. 2.50). Такая технология позволяет существенно сокращать сроки выполнения проектных работ.

На рис. 2.53 показан типовой функциональный блок ПИД-регулятора, выполненный на языке *FBD*.

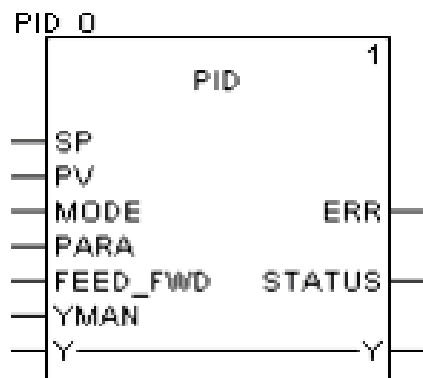


Рис. 2.53. Иконка ПИД-алгоритма в нотации *FBD*

В табл. 2.8 помещены перечень и описание переменных ПИД-регулятора.

Таблица 2.8

И/О-параметры	Параметры	Тип данных	Описание
Входы	SP	REAL	Reference value. Уставка
	PV	REAL	Process value. Процессный измеряемый параметр
	MODE	MODE_PID	Operation mode. Операционный режим
	PARA	PARA_PID	Parameters. Параметры (П, И, Д)
	FEED_FMD	REAL	Feed forward. Прямая обратная связь (связь по возмущению)
	YMAN	REAL	Controller output value in manual mode. Выходная величина сигнала контроллера в ручном режиме
Входы/выходы	Y	REAL	Manipulated variable. Управляемая переменная (Выход)
Выходы	ERR	REAL	Control deviation. Ошибка (разница между уставкой и процессной переменной)
	STATUS	Stat_MAXMIN	State of manipulated variable. Ограничение управляемой (выходной) переменной ПИД

Для решения задач регулирования на начальных этапах эксплуатации АС более простыми алгоритмами являются логические и релейные, которые реализуют как двухпозиционное, так и многопозиционное управление.

Алгоритмы двухпозиционного регулирования. Статическая характеристика двухпозиционного регулирования представляет собой вид, показанный на рис. 2.54.

Здесь выходная величина принимает два значения: включено при $X < SP - H$ и отключено $X > SP$, где H – значение гистерезиса.

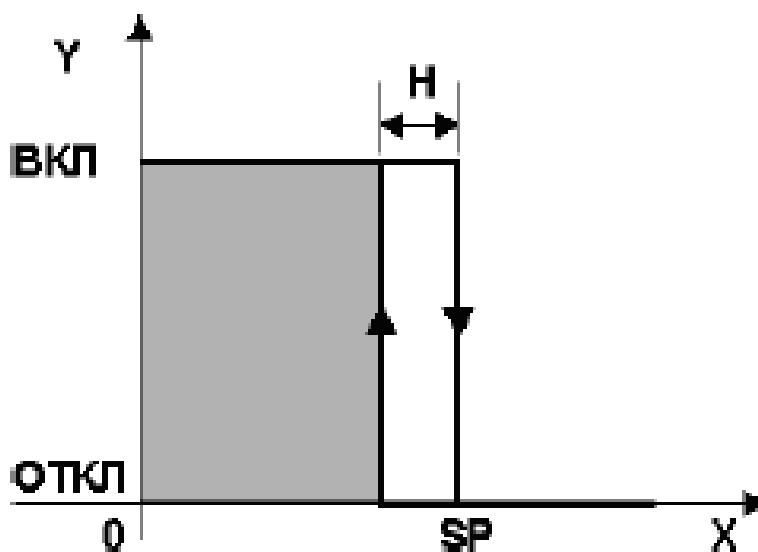


Рис. 2.54. Алгоритм двухпозиционного регулирования

Назначение зоны гистерезиса – это снижение частоты переключения контактов двухпозиционного переключателя, реализованного на основе электромеханического реле. Гистерезис может быть положительным, так и отрицательным. Отрицательный гистерезис применяются в основном для задержки включения, положительный для опережения.

Ширина зоны гистерезиса в поставляемых модулях двухпозиционного регулирования является программируемым параметром настройки. Основные варианты такой настройки показаны на рис. 2.55. Здесь (на рис. 2.55, а и б) показаны алгоритмы исполнительного устройства, причем алгоритм, показанный на рис. 2.55, а, используется для управления нагревом, в то время как алгоритм, показанный на рис. 2.55, б, используется для управления охлаждением. Два других алгоритма используются для формирования информационных сигналов нахождения их внутри допустимой зоны или, наоборот, вне этой зоны.

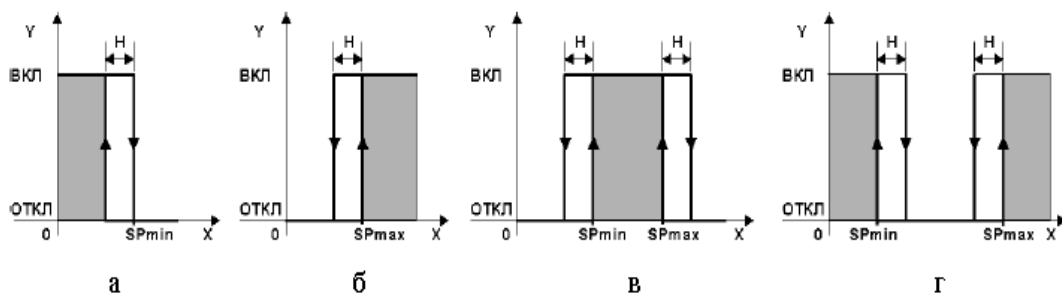


Рис. 2.55. Двухпозиционные алгоритмы регулирования и сигнализации

Точность регулирования зависит от величины гистерезиса. Чем меньше гистерезис, тем точнее регулирование, но тем чаще включается исполнительное устройство и тем самым возможен больший износ коммутационных элементов (например, реле). Уменьшая гистерезис, можно повысить качество регулирования до некоторого предела, определяемого параметрами объекта управления.

Существуют различные способы для улучшения качества процесса регулирования в двухпозиционных системах. Так, например, увеличение инерционности объекта регулирования снижает частоту включений регулятора, а регулирование неполным притоком (оттоком) улучшает качество процесса. Кроме того, существуют специальные схемы АРС-регулирования, которые позволяют повысить качество регулирования с использованием двухпозиционного управления.

Наиболее значимыми из усовершенствованных методов (рис. 2.56) являются: прерывистое двухпозиционное регулирование (рис. 2.53, а), двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной (рис. 2.56, б), применение корректирующего устройства в виде звена экспоненциальной обратной связи (двухпозиционное статическое регулирование), рис. 2.56. в, применение двойной экспоненциальной обратной связи, рис. 2.56, г.

Для реализации АРС-регуляторов с двухпозиционным включением используются специальные устройства – логгеры. Функции логгера обеспечивают фиксацию в энергонезависимой памяти максимального и минимального значения измеренного технологического параметра с момента последнего сброса и создают возможность двухпозиционного управления ОУ.

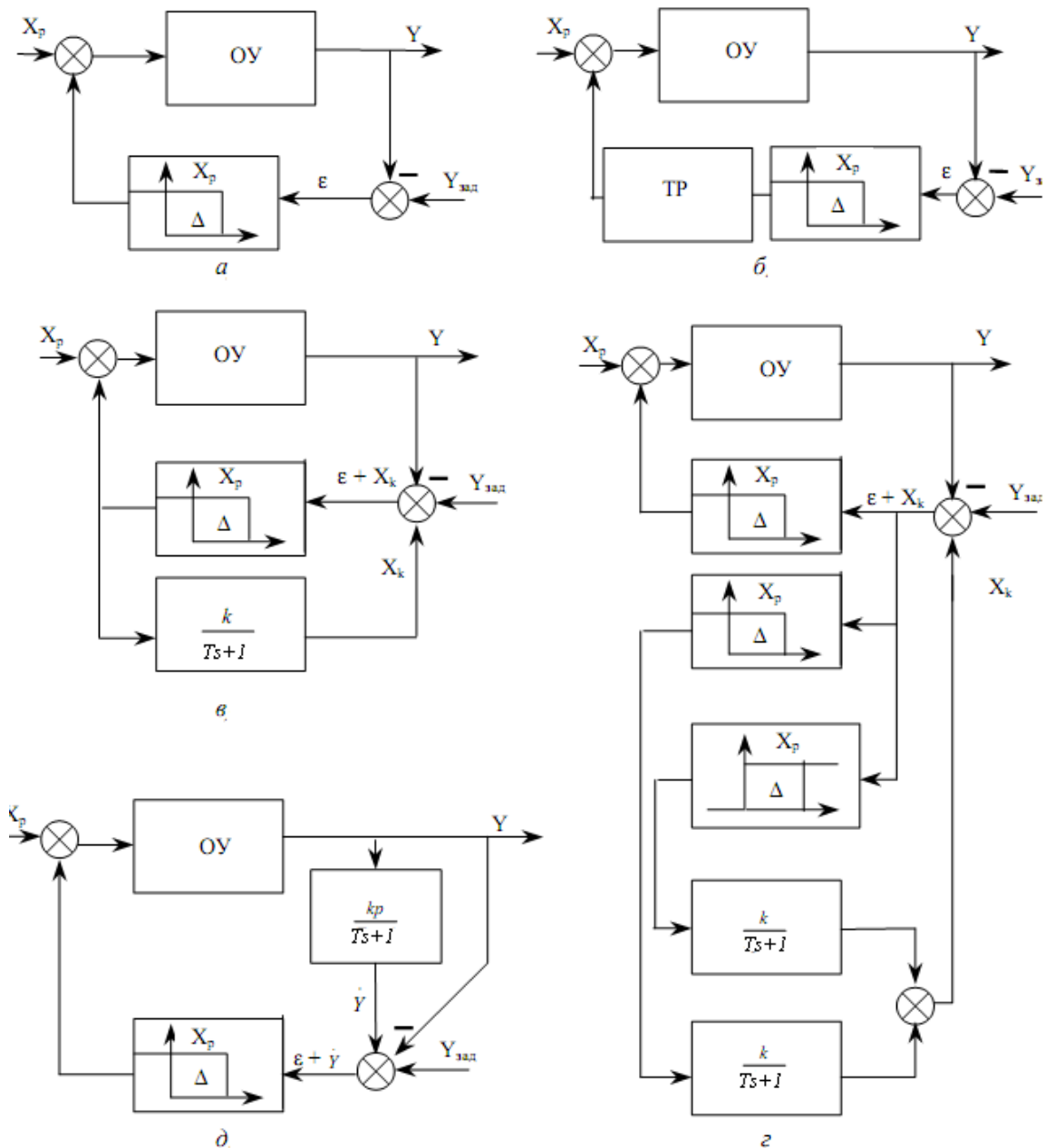


Рис. 2.56. Улучшенные алгоритмы двухпозиционного регулирования

Задание по разработке алгоритмического обеспечения

Результатом разработки в ПЗ этого раздела должно быть обоснование выбора алгоритмического обеспечения САР. При выборе алгоритмов следует оценить перспективу применения АРС-алгоритмов САР ОУ (технологической установки) по заданию.

Так, для установки подготовки нефти (УПН) основными объектами управления являются насосы, сепараторы, подогреватели нефти, от-

стойники воды. В перспективе для снижения трудностей ее обслуживания и управления следует использовать *APC*-алгоритмы.

Пример разработки САР. В качестве примера оценим возможность автоматического регулирования сквозным процессом подготовки нефти в части процессов «Управление подачей нефти, печью и сепарацией газа» (рис. 2.57).

1. *FF*-прямая связь позволяет компенсировать воздействие возмущения быстрее, чем *FB*-обратная связь, которая обнаруживает только сам факт ее воздействия в виде ошибки, вызванной разностью между управляемой величиной и управляющим воздействием. Это существенно, если точно известно место возникновения возмущения и модель обратного оператора. Для распределенной системы, такой как УПН, это проблематично. Кроме того, такие значимые возмущения, как изменения погодных условий, проявляются медленно и необходимость их быстрой компенсации в УПН неактуальна.

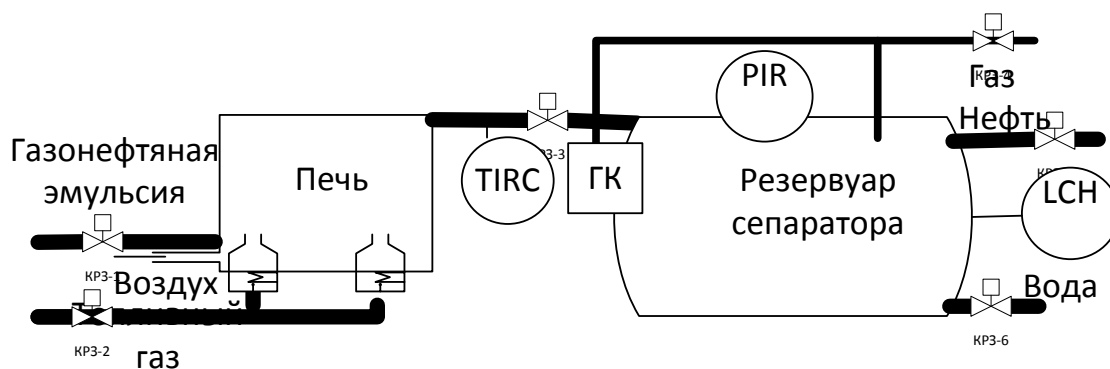


Рис. 2.57. Управление подачей нефти, печью и сепарацией газа

2. Достоинством *каскадного управления* является возможность эффективной компенсации возмущения во внутренних контурах САР сквозного процесса. Такое управление позволяет снизить эффекты, связанные с транспортной задержкой и постоянными времени. Выходную реакцию внутренних контуров можно значительно улучшить с помощью ПИД – регулирования. Недостатком являются сравнительно большие трудности при перенастройке ПИД-внутренних контуров.

3. *Предиктор Смита и Internal Model Control* – похожие алгоритмы. Их достоинством является эффективная компенсация транспортного запаздывания и постоянных времени объектов управления, что увеличивает реактивность их действий. Эти схемы особенно перспективны для управления внутренними контурами, имеющими большие транспортные задержки. Если предварительные расчеты покажут, что в УПН имеются большие задержки, то выбор такого регулирования целесообразен.

4. Возможности *Split-range control* и *Parallel control* также в некоторой степени похожи. Их достоинством является сравнительно высокая точность регулирования в широком диапазоне изменения рабочих точек процесса. Для УПН эта проблема не является актуальной.

5. *Override control* и *Selective control* относятся к САР переменной структуры. Их достоинством является возможность «умного выбора» структуры управления в зависимости от складывающейся ситуации с регулируемыми параметрами. В результате достигается повышение устойчивости работы САР при изменении условий технологического процесса. Такое регулирование особенно целесообразно для безлюдной технологии управления УПН.

6. Для повышения эффективности работы печи подогрева нефти следует использовать регулятор отношений подачи топлива и воздуха (*Ratio control*). Это позволит поддерживать установленное регламентом соотношение между подачей воздуха и газа. Регулятор отношений работает с двумя различными величинами, которые должны быть приведены в установленное постоянное взаимное соотношение. В качестве ведущей величины выберем воздух. Значение ведущей величины умножается на этот коэффициент и подводится как уставка к регулятору газа.

7. Для регулирования уровня воды и нефти в сепараторе целесообразно использовать ПИД-регуляторы. Пропорционально-интегрирующе-дифференцирующие (ПИД) регуляторы широко распространены в нефтегазовой отрасли и применяются во многих АС. Их структура компактна и проста, и они позволяют достичь цели управления для большинства технологических объектов. За долгую историю своего использования и развития алгоритмы ПИД-управления дополнялись нововведениями, призванными повысить их эффективность. Для промышленных регуляторов этого типа были предложены и реализованы различные варианты дифференцирующей составляющей регулятора, решены задачи, связанные с насыщением интегральной составляющей, реализованы упреждающие управления.

Matlab – модель САР выбранных алгоритмов управления – показана в прил.17.

В ПЗ необходимо привести следующее описание раздела алгоритмического обеспечения автоматического управления ТП:

- определить (перечислить) алгоритмы автоматического управления, необходимые для управления ОУ с использованием ПЛК;
- указать достоинства и недостатки выбранных алгоритмов;
- осуществить выбор типа регулятора;
- разработать *Matlab*-модель САР. Рекомендуется поместить ее в «Альбом схем».

3. ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ АС

В этом разделе проекта 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.

Технические средства АС – это комплект средств, обеспечивающий функционирование АС различного вида и уровня, это средства автоматизации, средства вычислительной техники, линии связи, приборные закладные, несущие конструкции.

Выбор технического средства – процесс итеративных инженерных поисков путем удовлетворения различных требований, изложенных в исходных материалах на проектирование АС, ТЗ, в нормативно-технических документах по созданию АС, эксплуатационных данных конкретного технического средства, которое предполагается к использованию в АС.

В настоящее время в большинстве рассматриваемых ситуаций можно найти альтернативные технические средства, как российских производителей, так и зарубежных фирм.

Задача проектировщика АС – найти несколько качественно близких друг другу технических средств с тем, чтобы у специалистов по закупке, приобретению была бы возможность организации их конкурентного отбора.

Выбор технических средств АС учитывает в первую очередь соотношение «качество технического средства – цена технического средства».

Для обеспечения необходимого качества технического средства следует провести серьезный анализ факторов, в той или иной мере влияющих на их выбор.

Требования, которым должны удовлетворять технические средства, разделяются на следующие группы требований:

- функциональные;
- технологические;
- метрологические;
- конструктивные.

3.1. Выбор контроллерного оборудования

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) подразделяются:
Программированные средства автоматизации

- *ADSP*-процессоры;
- ПЛК;
- ПКК;
- ПАК;
- специализированные контроллеры;

• *ADSP*-процессоры – средство автоматизации, которое используются для сложного математического анализа процессов в системе. Эти процессоры имеют быстродействующие модули ввода/вывода, которые с высокой частотой могут передавать данные на центральный процессор, который с помощью сложного математического аппарата анализирует работу системы. Пример – системы вибродиагностики, которые используют для анализа ряды Фурье, спектральный анализ и счетчик импульсов. Как правило, такие процессоры исполняются в виде отдельной *PCI* платы, которая монтируется в соответствующий слот компьютера и использует ЦП для математической обработки;

• ПЛК – самые распространенные средства автоматизации. Имеют собственный блок питания, центральный процессор, оперативную память, сетевую карту, модули ввода/вывода. Преимущество – высокая надежность работы системы, адаптация к промышленным условиям. Кроме того, используются программы, которые выполняются циклически и имеют так называемый *Watch Dog*, который используется для предотвращения зависания программы. Также программа выполняется последовательно и не имеет параллельных связей и этапов обработки, которые могли бы привести к негативным последствиям;

• ПКК – компьютер с платами ввода/вывода, сетевыми картами, которые служат для ввода/вывода информации;

• ПАК (программированные автоматизированные контроллеры) – ПЛК+ПКК. Имеют распределенную сетевую структуру для обработки данных (несколько ПЛК и ПКК);

• специализированные контроллеры – не являются свободно программируемыми средствами автоматизации, а используют стандартные программы, в которых можно изменить только некоторые коэффициенты (параметры ПИД-регулятора, время хода исполнительного механизма, задержки и т.д.). Такие контроллеры ориентированы на заранее известную систему регулирования (вентиляция, отопление, ГВС). В начале нового тысячелетия эти технические средства автоматизации получили большое распространение.

Особенностью *ADSP* и ПЛК является использование стандартных языков программирования: *C*, *C++*, *Assembler*, *Pascal*, — так как они созданы на базе ПК. Эта особенность средств автоматизации является одновременно и достоинством, и недостатком. Преимущество в том, что с помощью стандартных языков программирования можно написать более сложный и гибкий алгоритм. Недостаток – для работы с ними необходимо создавать драйверы и использовать язык программирования, который является более сложным.

Преимуществом ПЛК и ПАК является использование инженерных языков программирования, которые стандартизованы *IEC 61131-3*. Эти языки рассчитаны не на программиста, а на инженера-электрика. ПЛК реализуются на базе микропроцессорной техники. Процессорные устройства такого типа делятся на классы: нано-, микро-, малые, средние и большие. Первоначально ПЛК предназначались для замены релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах – реле, счетчиках, таймерах, элементах жесткой логики. Сейчас в результате развития электроники они также решают, как вычислительные, так и коммутационные задачи.

Так называемые встраиваемые ПЛК содержат широкий спектр процессорных, периферийных, интерфейсных и мезонинных модулей и плат (рис. 3.1). К встраиваемым системам относятся полнофункциональные одноплатные компьютеры и контроллеры, мониторы и системы для визуализации.

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), рис. 3.1. УСО осуществляют, в случае необходимости, нормализацию сигналов (приведение к унифицированному уровню сигналов), преобразование их в цифровой код и операции ввода/вывода.

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

Как видно из рис. 3.1, 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 ис-

полнительные устройства, модули осуществляют соответственно аналого-цифровое (АЦП) или цифро-аналоговое преобразование (ЦАП).

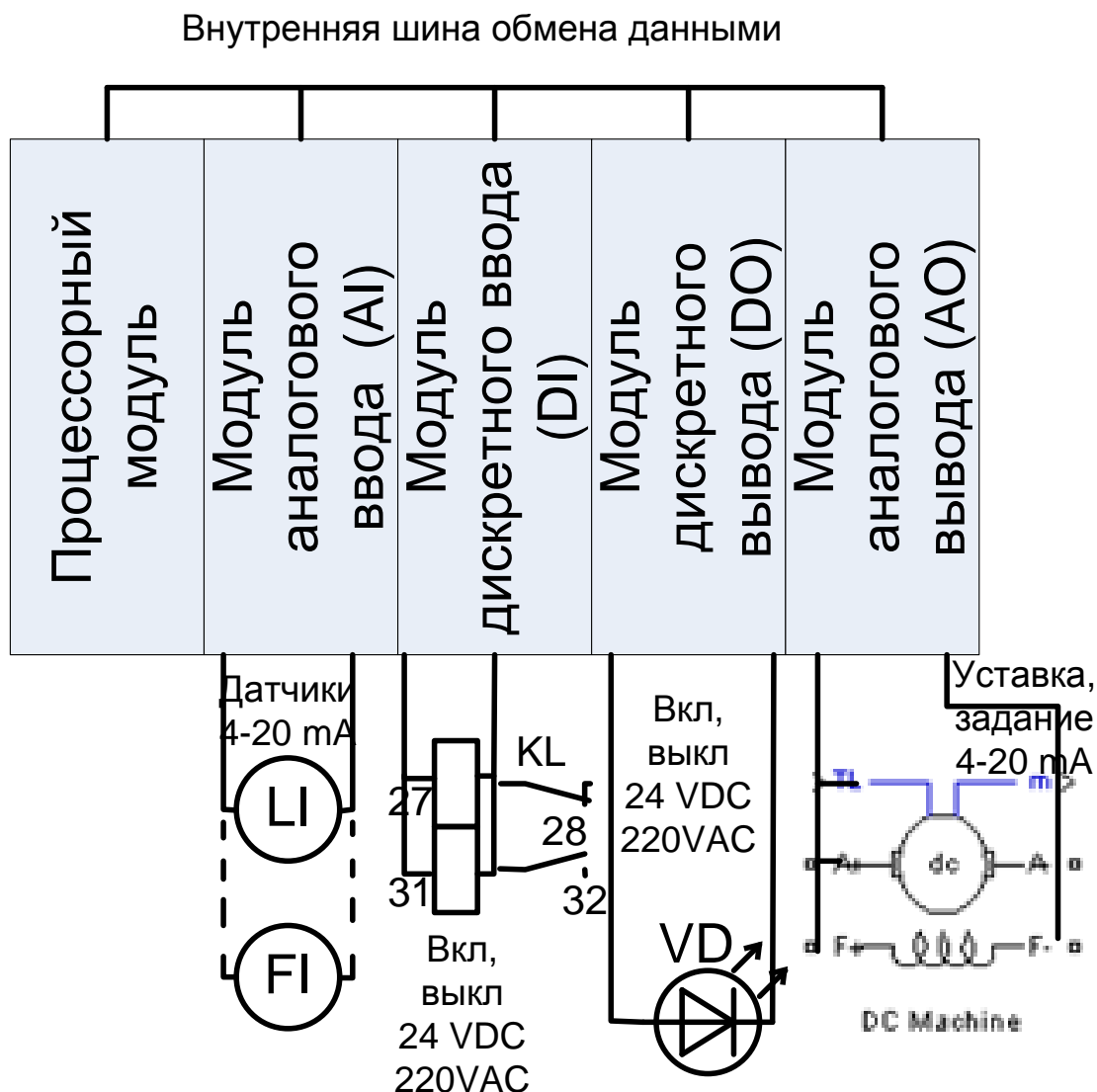


Рис. 3.1. Устройства ввода/вывода ПЛК

Модули ввода/вывода базового назначения бывают четырех типов: модули аналогового и дискретного ввода/вывода. Алгоритм обработки аналогового параметра включает в себя:

- фильтрацию измеряемого значения;
- пересчет измеряемого значения в инженерные единицы измерения (масштабирование);
- контроль достоверности параметра;
- контроль скорости изменения параметра;

- обработку параметра в различных режимах;
- контроль предельных значений параметра;
- формирование сигналов для отображения, оперативных сообщений и управляющих сигналов.

Процедура нормализации сводится к приведению границ изменения сигнала ввода к одному из унифицированных диапазонов входных сигналов. Для унификации (сокращения числа типов) модулей ввода используют устройства *нормирования сигналов*, которые преобразуют измеряемую физическую величину в стандартный электрический сигнал, соответствующий ГОСТ 26.011-80 и ГОСТ Р 51841-2001. Применение стандартов позволяет изготовить всего один тип универсального устройства ввода со стандартными диапазонами для всех типов датчиков со стандартными выходными сигналами.

Однако для таких датчиков, как термопары, термопреобразователи сопротивления, тензорезисторы, в силу их широкой распространенности, нормирующие преобразователи встраивают в сами модули ввода. Поэтому, кроме универсальных модулей ввода, получили распространение специализированные модули ввода сигналов термопар, термопреобразователей сопротивления и тензорезисторов.

Процедура масштабирования включает в себя две операции: «Умножение» и «Смещение». Последовательность этих операций для каналов ввода и вывода различна.

Для каналов ввода значение электрического сигнала измерения умножается на некоторый коэффициент (величина коэффициента определяется отношением диапазона изменения физического сигнала на соответствующий диапазон изменения электрического сигнала) и к полученному результату добавляется величина смещения. Результат присваивается соответствующей величине переменной алгоритма вычисления.

Для каналов вывода сначала добавляется величина смещения, а затем эта сумма умножается на коэффициент.

Процедура контроля достоверности в интеллектуальных устройствах выполняется в соответствии с самовалидацией измеренного значения (*CEVA*). В аналоговых каналах измерения контролируется выход токового сигнала за пределы 4–20 мА.

Пример. Модули аналогового ввода (AI, analogue input). Они принимают от датчиков, подключенных к его входам, электрические сигналы унифицированного диапазона, например, 0...20 или 4...20 мА (токовый сигнал); 0...10 V или 0...5 V (потенциальный сигнал); милливольтный сигнал от термопар (*ТС*) или сигнал от термосопротивлений (*RTD*) (в случае неунифицированного сигнала для ввода данных необ-

ходим специальный модуль – нормализатор). Внутреннее устройство (АЦП) преобразует их в цифровой код.

Пусть в технологическом процессе используется датчик давления с диапазоном измерений 0...6 Бар и токовым выходом 4...20 мА. Датчик измеряет давление P , которое в данный момент равно 3 Бар (1 Бар = 0,1 МПа). Так как датчик линейно преобразует значение измеряемого давления в токовый сигнал, то на выходе датчика будет

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

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

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

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 В (в редких случаях 12, 48 В постоянного тока, 120 В переменного тока). Вход модуля DI также может реагировать на замыкание/размыкание контакта в подключенной к нему цепи. К DI обычно подключают датчики контактного типа, кнопки ручного управления, статусные сигналы от систем сигнализации, приводов, позиционирующих устройств и т.д.

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

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

Модули DO могут управлять приводами, отсечными клапанами, зажигать светосигнальные лампочки, включать звуковую сигнализацию и т.д. В качестве выходных устройств в этом модуле применяется промежуточные реле, например, 3SJ5 или РЭК.

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

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

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

Регулируемый клапан, обнаружив на своем входе ток 12 *mA*, 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 *AI 4*. Это четырехканальный модуль аналогового ввода. К нему можно подключить 4 датчика. *DI 16* – это шестнадцатиканальный модуль дискретного ввода. К нему можно подключить 16 статусных сигналов с какого-нибудь агрегата.

Проектировщик автоматизации полевого уровня должен выбирать первичные преобразователи и электрические цепи различного назначения с минимальным числом разновидностей градуировок сигналов. Разработчик АС, который осуществляет выбор контроллера, имеет право предложить проектировщику полевых средств автоматизации изменить градуировку и значение сигналов с целью уменьшения разновидностей модулей ввода/вывода УСО.

Результат анализа схемы автоматизации и/или ведомостей ввода/вывода сигналов и данных следует оформить в виде отдельной таблицы. Одновременно с определением числа и вида «полевых» сигналов следует наметить место их реализации, место размещения устройств связи с объектом. Другими словами, следует разрабатывать схему комплекса технических средств. Ее обычно выполняют по ГОСТ 24.302-80.

Фильтрация и сглаживание (рис. 3.2) измеряемых значений предусмотрены в алгоритме первичной обработки информации, реализованном в программном обеспечении модулей аналогового ввода.

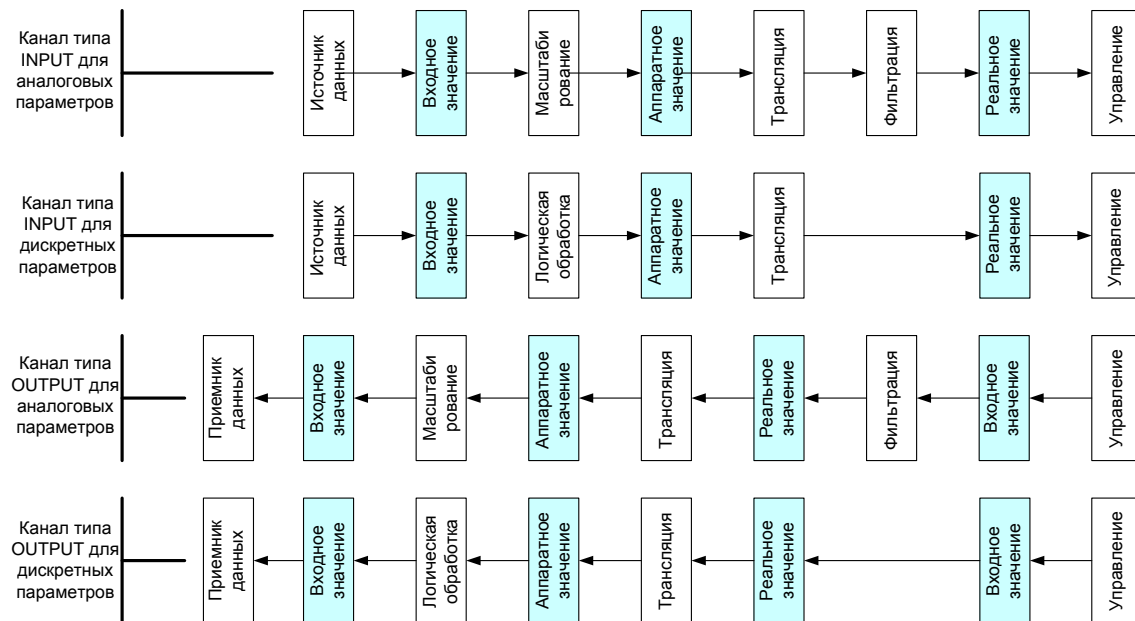


Рис. 3.2. Структура каналов для аналоговых и дискретных параметров

Коммуникация между контроллером и подсистемой ввода/вывода

Различают несколько вариантов коммуникационного обмена между модулями ввода/вывода и процессорным модулем. Наиболее распространенными являются шинная с использованием отдельного шасси (рис. 3.3) или крейтовая организация обмена и модульный обмен данными.

В современных системах расположение модулей ввода/вывода на шине шасси строго регламентировано только для отдельных модулей (например, блока питания процессора), другие можно устанавливать в произвольном порядке. Однако один или несколько слотов, как правило, резервируются под установку резервного интерфейсного модуля. Одно из жестких требований, предъявляемых к современным подсистемам ввода/вывода, – это возможность «горячей» замены модулей без отключения питания (функция *hot swap*).

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.

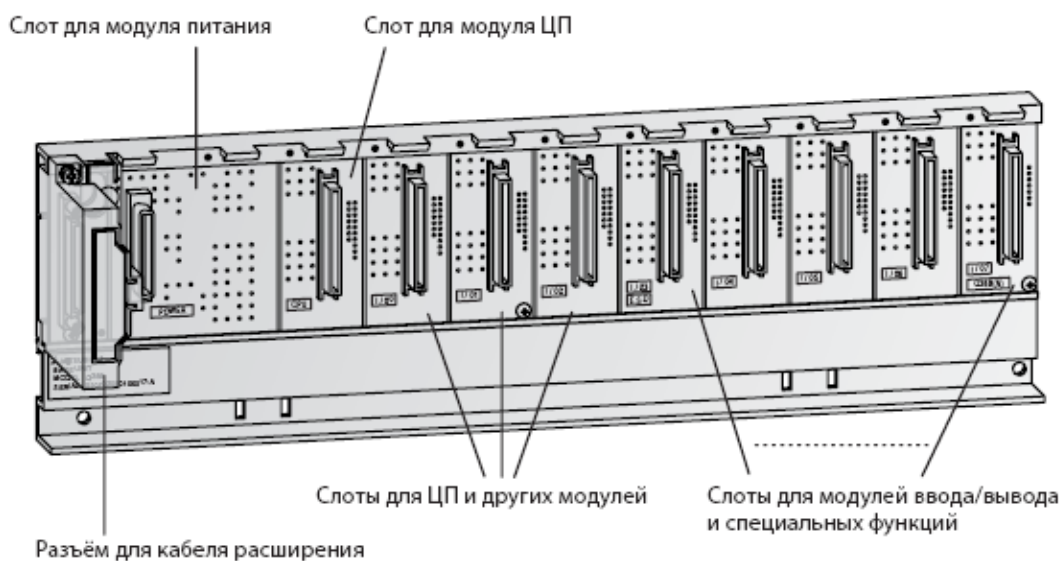


Рис. 3.3. Шина ввода/вывода

Контроллеры кабельного типа обмена не используют общего конструктива. Каждый модуль таких контроллеров, будь то процессорный модуль или модуль ввода/вывода, имеет собственный корпус. Модули объединяются внешней шиной в виде соединительного кабеля. Так как защитную оболочку для каждого модуля сделать проще, чем для всего контроллера, то именно этот тип контроллеров чаще всего выпускают для жёстких условий эксплуатации в исполнениях, например, IP 67 и выше.

Контроллеры модульного типа очень часто выпускают в корпусе для монтажа на рейку *DIN NS 35/7,5*. В качестве примера на рис. 3.4 и 3.5 показаны модули контроллера с внешней шиной, приспособленные для эксплуатации в жёстких условиях.

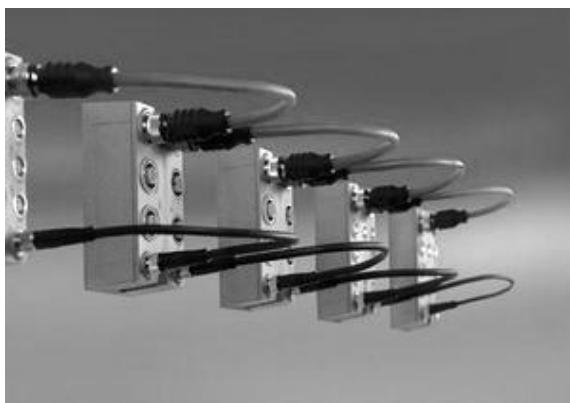


Рис. 3.4. Контроллеры модульного типа

Выбор ПЛК. 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 т.ч. и *Flash*) от ПЗУ энергонезависимой памяти является возможность перепрограммирования при подключении к стандартной системной шине микропроцессорного устройства. В *EEPROM* реализуется возможность производить стирание отдельной ячейки при помощи электрического тока. Во флэш-памяти используется несколько отличный от *EEPROM* тип ячейки-транзистора. Технологически флэш-память родственна как *EPROM*, так и *EEPROM*. Основное отличие флэш-памяти от *EEPROM* заключается в том, что стирание содержимого ячеек выполняется либо для всей микросхемы, либо для определённого блока (кластера, кадра или страницы).

Обычный размер такого блока составляет 256 или 512 байт, однако в некоторых видах флэш-памяти объём блока может достигать 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 таких 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 автомати-

зации небольших объектов процессов добычи, подготовки и транспорта нефти и газа. Это контроллеры *PLC-5 (Allen-Bradley)*, *Premium (Schneider Electric)*, *Direct Logic DL405 (Kooyo)* 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)*.

Типовая архитектура ПЛК показана на рис. 3.5.

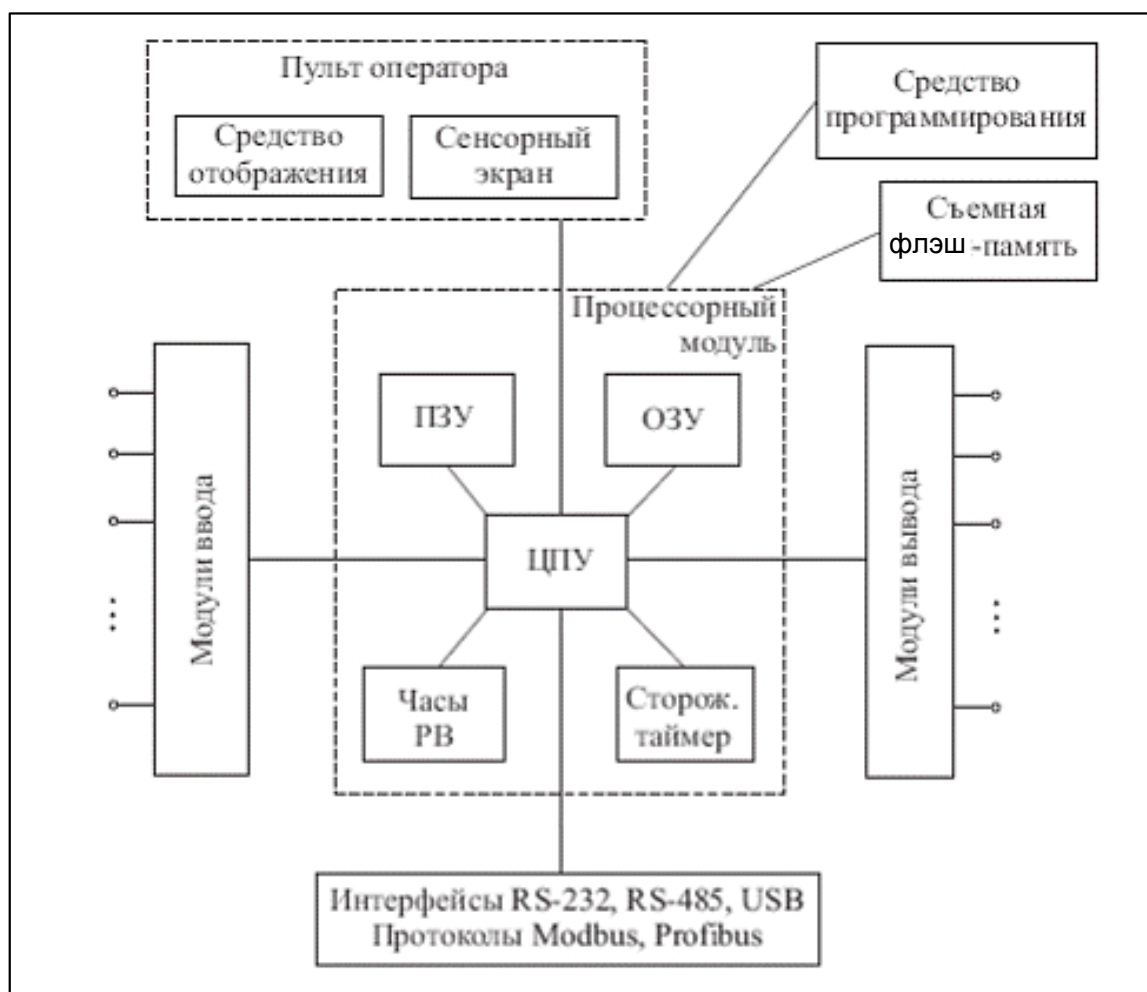


Рис. 3.5. Типовая архитектура ПЛК

Параметры ПЛК 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 *съёмные 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 незафиксированное (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. Так как количество слотов в шасси ограничено (максимум 16...18 для некоторых контроллеров), то и количество локальных вводов/выводов может быть также ограничено. Преимущество локальных вводов/выводов заключается в том, что они имеют высокую скорость обновления данных. При всех прочих равных условиях скорость обработки этих вводов/выводов очень высока. Эта характеристика особенно важна, когда речь идет о регулировании технологических параметров.

Для поддержки большего числа каналов ввода/вывода фирмы-производители аппаратных средств снабдили свои системы возможностью их расширения посредством системных шин. Модули ввода/вывода на *DIN*-рейке (рис. 3.6) соединяются между собой специализированным коротким кабелем и могут быть отнесены максимум на несколько десятков метров от центрального.



Рис. 3.6. Организация расширенного ввода/вывода ПЛК на *DIN*-рейке

Некоторые комплексы контроллеров способны поддерживать несколько шасси 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.

Вариант опросного листа на ПЛК приведен в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование системы (объекта управления)	
Назначение контроллера	<input type="checkbox"/> Только сбор данных. <input type="checkbox"/> Дискретное управление. <input type="checkbox"/> Непрерывное управление. <input type="checkbox"/> Вычисление расхода газа. <input type="checkbox"/> Компьютер чистой нефти. <input type="checkbox"/> Оптимизация добычи нефти
Количество сигналов ввода/вывода	Аналоговый вход: _____ Аналоговый выход: _____ Дискретный вход «сухой контакт»: _____ Дискретный вход 24 В: _____ Дискретный выход 24 В: _____ Дискретный выход релейный: _____ Импульсный вход: _____ Температурный вход Pt100: _____ Цифровой вход HART: _____
Количество и тип коммуникационных портов (максимум 2)	<input type="checkbox"/> RS-232 (до 15 м). <input type="checkbox"/> RS-485 (до 1500 м). <input type="checkbox"/> Выделенная телефонная линия. <input type="checkbox"/> Коммутируемая телефонная линия. <input type="checkbox"/> Радио
Поддерживаемые коммуникационные протоколы	<input checked="" type="checkbox"/> ROC. <input type="checkbox"/> MODBUS. <input type="checkbox"/> HART
Условия размещения контроллера	<input type="checkbox"/> В отапливаемом помещении. <input type="checkbox"/> В неотапливаемом помещении. <input type="checkbox"/> Вне помещения
Защитный кожух	<input type="checkbox"/> Не требуется. <input type="checkbox"/> Требуется: – для монтажа на открытой площадке; – для монтажа на стене/трубе
Внешний жидкокристаллический дисплей	<input type="checkbox"/> Не требуется. <input type="checkbox"/> Требуется
Температура окружающей среды, °С	

Напряжение питания на объекте	<input type="checkbox"/> 220 В перем. тока. <input type="checkbox"/> 24 В пост. тока. <input type="checkbox"/> 12 В пост. тока. <input type="checkbox"/> отсутствует
ПО контроллера	<input type="checkbox"/> Для сбора и отображения данных (<i>SCADA</i>). <input type="checkbox"/> <i>OPC</i> сервером. <input type="checkbox"/> <i>DDE</i> сервером
Дополнительные требования	–

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 рис. 3.7 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).

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

Полевыми сетями являются:

- *HART*;
- *Foundation Fieldbus (H1)*;
- *Modbus*;
- *ASI*;
- *Interbus-S*;
- *Device net*;
- *PROFIBUS-PA*;
- промышленный *Ethernet*.

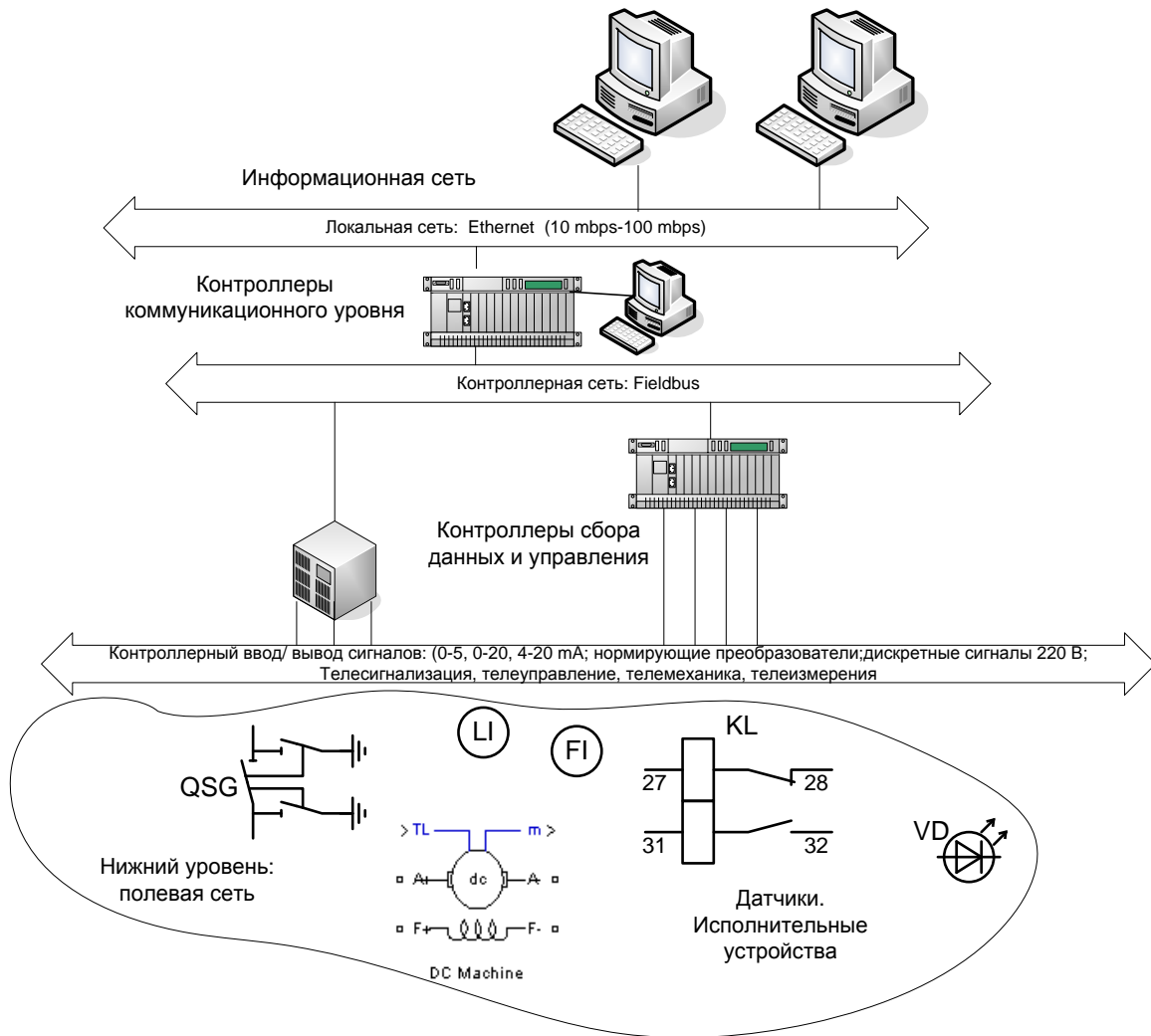


Рис. 3.7. Сетевая структура коммуникации ПЛК

На контроллерном уровне наиболее известны:

- PROFIBUS-DP, -FMS, -PA;
- BITBUS;
- ControlNET;
- Modbus plus;
- Foundation Fieldbus (H2).

На двух уровнях – полевом и контроллерном – применяются:

- CAN;
- FIP;
- LON;
- Device net;
- FF (H1 + H2);
- PROFIBUS.

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 сетевые 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: Ethernet, Modbus, Modbus plus, CAN, FIP, Profibus, MPI, ControlNet, DH+, Genius, DirectNet, DeviceNet, Interbus, SDS, ASI, HART, FF и еще несколько десятков протоколов. Каждый из этих протоколов имеет свои особенности и области применения.

Широкое распространение Ethernet на предприятиях и при использовании Интернета в значительной степени превращает его в обязательный стандарт коммуникаций.

Он помогает сократить расходы на подключение и повышает производительность, надежность, расширяет функциональные возможности. Его скорость не замедляет работу приложений, а архитектура позволяет легко проводить модернизацию (изделия и программное обеспечение совместимы), что делает системы легко расширяемыми.

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 рис. 3.8 приведен пример взаимодействия контроллеров *SCADAPack/Slaves* через интерфейс *RS-485*, используя стандартный протокол обмена *Modbus*. Для связи контроллеров *SCADAPack* с рабочей станцией через сеть *Ethernet* использован модуль/шлюз *Ethernet 5905*.

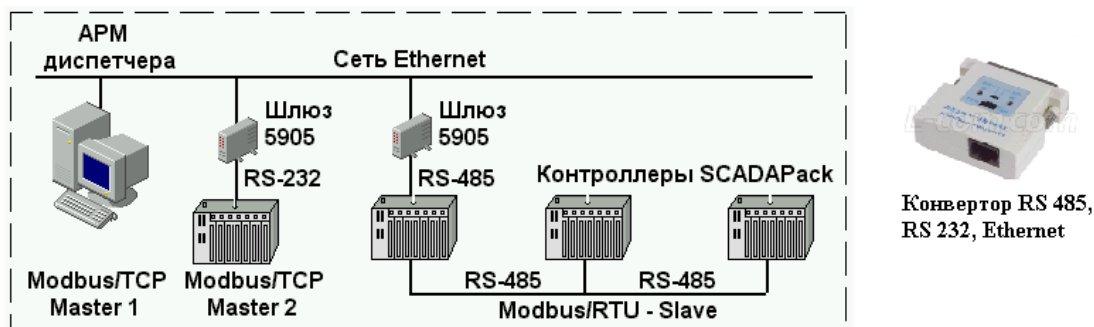


Рис. 3.8. Взаимодействие контроллеров по протоколу *Modbus*

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 информационные 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 центрального контроллера (ПЛК, компьютера) в системах промышленной автоматизации.

Сообщения, циркулирующие в сети *SDS*, носят название *APDU*-блоки данных протокола прикладного уровня (*Application layer Protocol Data Unit*).

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 (например, с использованием манчестерского кодирования цифровых сигналов) позволяет значительно удлинить шину. Стандартом определены две скорости передачи: 375 Кбод (до 300 м) и 62,5 Кбод (до 1 200 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 передачи также используются две пары проводников (одна – для данных, другая – для управления повторителем).

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

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

FIP-протокол поддерживает уровни 1, 2 и 7 модели *OSI*. В качестве среды передачи используются витая пара или оптоволокно. Максимальная протяженность сети – 1 000 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 общее решение (рис. 3.9). 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.

Для *PROFIBUS* назначен способ передачи *RS485*, базирующийся на полудуплексной, асинхронной синхронизации. Данные передаются внутри 11-разрядного кадра в *NRZ*-коде (*Non Return to Zero*). Значения сигнала (биты) не изменяются во время передачи сигнала.

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).

Сеть *DH+* (*Allen-Bradley*) поддерживает передачу данных и удаленное программирование контроллеров в дополнение к одноранговой связи между другими процессорами и устройствами (рис. 3.10). Магистральная линия сети *DH+* может иметь протяженность до 3 048 м, ответвления – до 30 м. К одной сети *DH+* можно подключить до 64 устройств. Скорость передачи данных зависит от длины шины и может настраиваться от 57,6 Кбод (3 048 м) до 230, 4 Кбод (750 м).

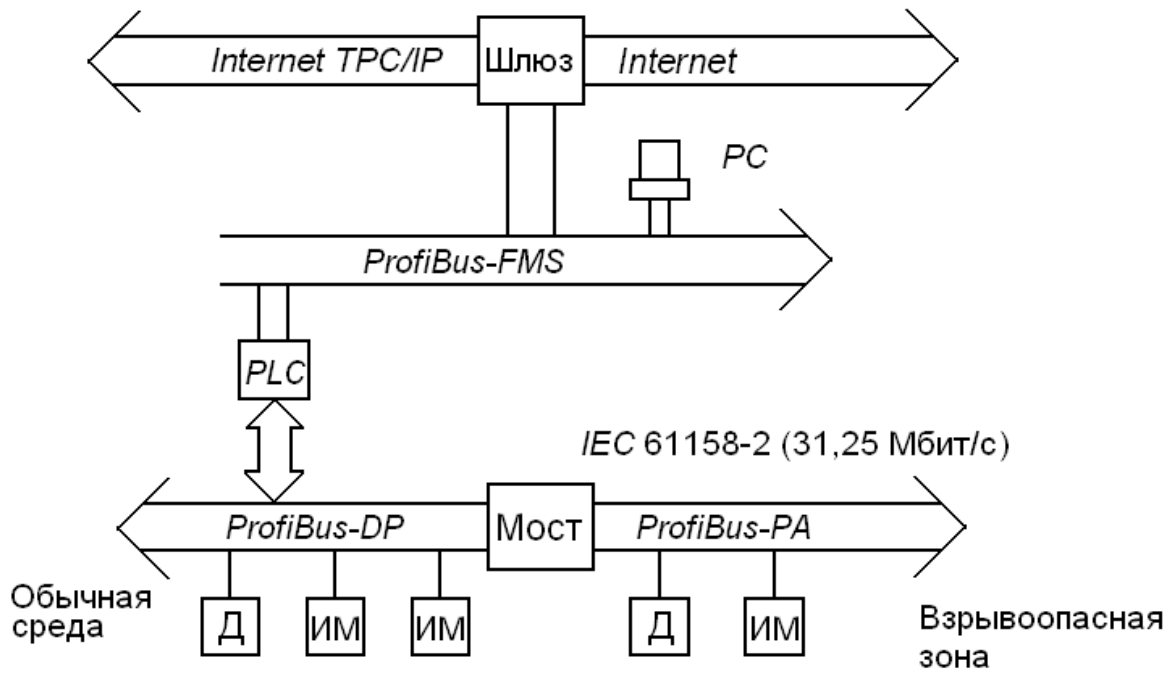


Рис. 3.9. Сеть Profibus

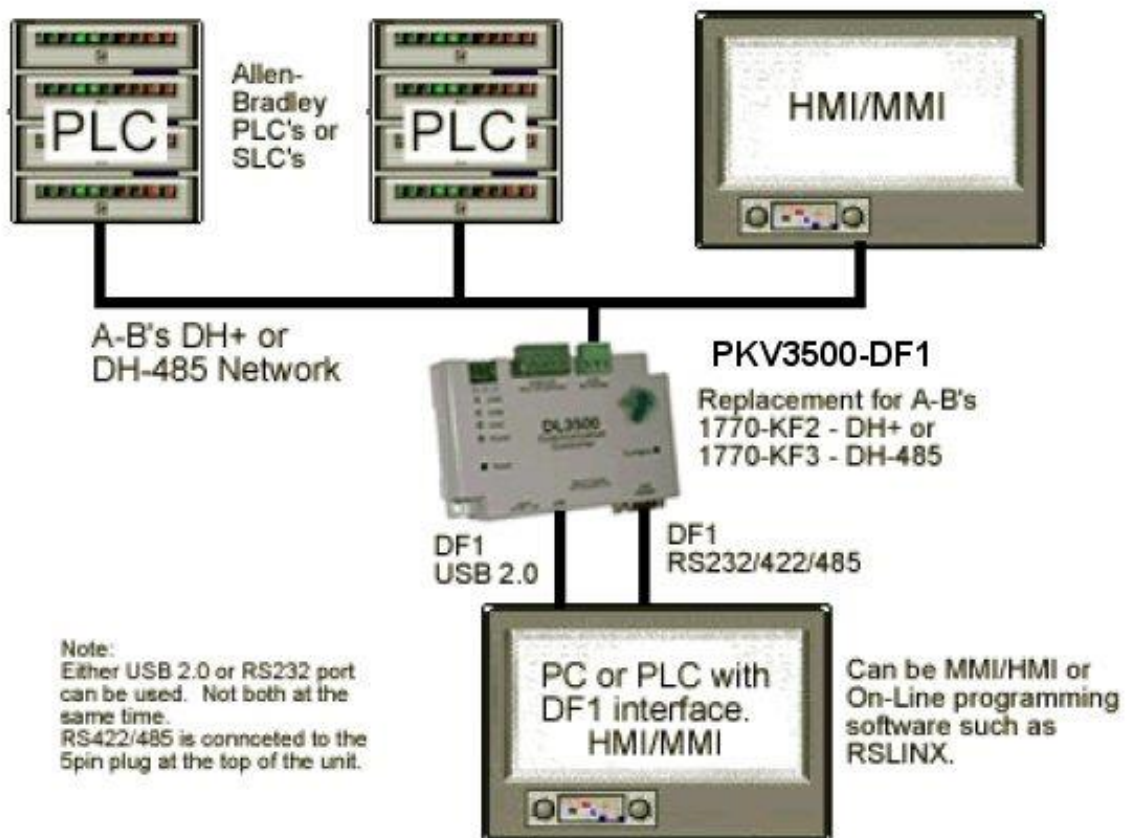


Рис. 3.10. Контроллеры Allen-Bradley в сети DH+

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* (рис. 3.11). 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 контроллера, 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.

Пакет, дейтаграмма (*Datagram*), представляет собой направленную посылку данных от ведущего контроллера к другому или к компьютеру. Прием/передача пакета (или дейтаграмм) происходит под управлением программы пользователя. Момент отправки дейтаграммы может быть задан с требуемой периодичностью или по наступлению какого-либо события. Термин *пакет* распространяется на любое сообщение, форматированное как пакет, тогда как термин дейтаграмма обычно используется для пакетов «ненадежных» служб. «Надежной» является служба, которая уведомляет контроллер или компьютер, если доставка не удалась, тогда как «ненадежная» такого уведомления пользователя не делает. Например, *IP* не обеспечивает надежный сервис, а *TCP* и *IP* вместе его обеспечивают, тогда как *UDP* с *IP* надежный сервис не обеспечивают. Все эти протоколы используют пакеты, но *UDP*-пакеты, как правило, называют дейтаграммами.

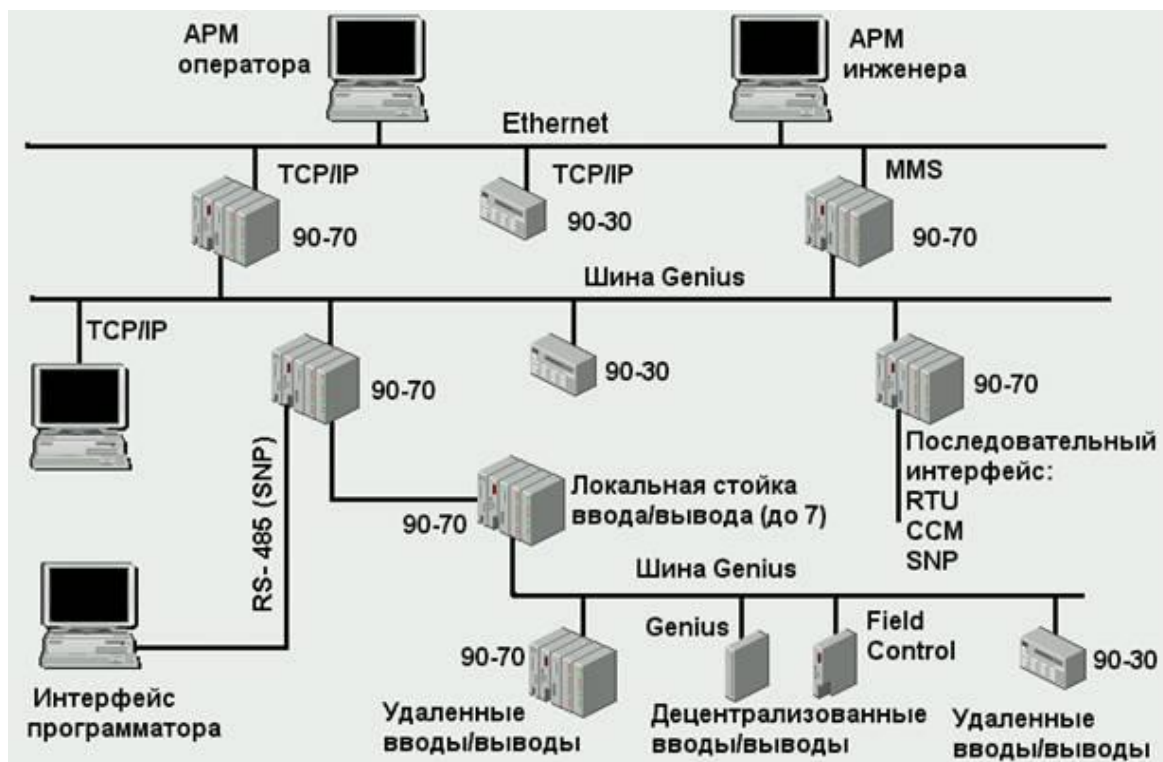


Рис. 3.11. Контроллеры фирмы *GE Fanuc* в сети *Genius*

Пакет в АС состоит из двух типов данных: управляющей информации и данных измерений. Управляющая информация содержит данные, необходимые для доставки данных источника информации: адреса источника и получателя, коды обнаружения ошибок (типа контрольных сумм) и информацию об очередности. Как правило, управляющая информация содержится в заголовке и хвосте пакета, а между ними размещаются пользовательские данные.

Различные коммуникационные протоколы используют разные соглашения для разделения элементов и для форматирования данных. В протоколе «двоичной синхронной передачи» пакет отформатирован в 8-битных байтах, а для разделения элементов используются специальные символы. В других протоколах, таких как *Ethernet*, зафиксировано начало заголовка и элементов данных, их расположение относительно начала пакета. Некоторые протоколы форматируют информацию на уровне битов, а не байтов.

Хорошей аналогией является рассмотрение пакета как письма: заголовок является конвертом, а область данных – это то, что человек вкладывает внутрь конверта.

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++.

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

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 котроллер 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	—	—	Команда «считать»	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 *AO* 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 *AO* 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 управляющей программе ПЛК выполняются следующие задачи:

Программа регулятора – задача выполнения последовательности функциональных блоков, реализующая определенный алгоритм обработки параметров глобального массива. Количество задач зависит от данных в конфигурационном файле.

Связь с внутренними модулями устройств связи с объектом (УСО) – задача функционирует с определенным периодом, и осуществляет чтение/запись физических контекстов ввода/вывода (данных встроенных модулей ввода/вывода контроллера).

Связь с внешними модулями УСО – осуществляет связь с внешними модулями УСО по коммуникационным каналам связи – последовательным портам и *Ethernet*. Количество задач зависит от данных в конфигурационном файле.

Обмен с верхним уровнем – задача обеспечивает связь с верхним уровнем – системой программирования (*MasterSCADA* или *MasterLogic*), *SCADA*-пакетом или *OPC*-сервером. Эта задача отвечает за загрузку конфигурации в контроллер, отладку программ пользователя, мониторинг состояния исполнительной системы, чтение/запись параметров глобального массива и др.

Терминал – эта задача мониторинга состояния исполнительной системы. Возможен вариант с подключением к контроллеру клавиатуры и монитора (при наличии таковых портов) и вариант удаленного терминала. В случае удаленного терминала задача использует один из последовательных портов (тот, который предусмотрен в контроллере для подобных целей).

Алгоритм обмена ПЛК с верхним уровнем показан на рис. 3.12. Он обеспечивает управление между нижележащей и вышележащей подсистемами. Использование сторожевого таймера (0,7 с) повышает стабильность и надежность программы.

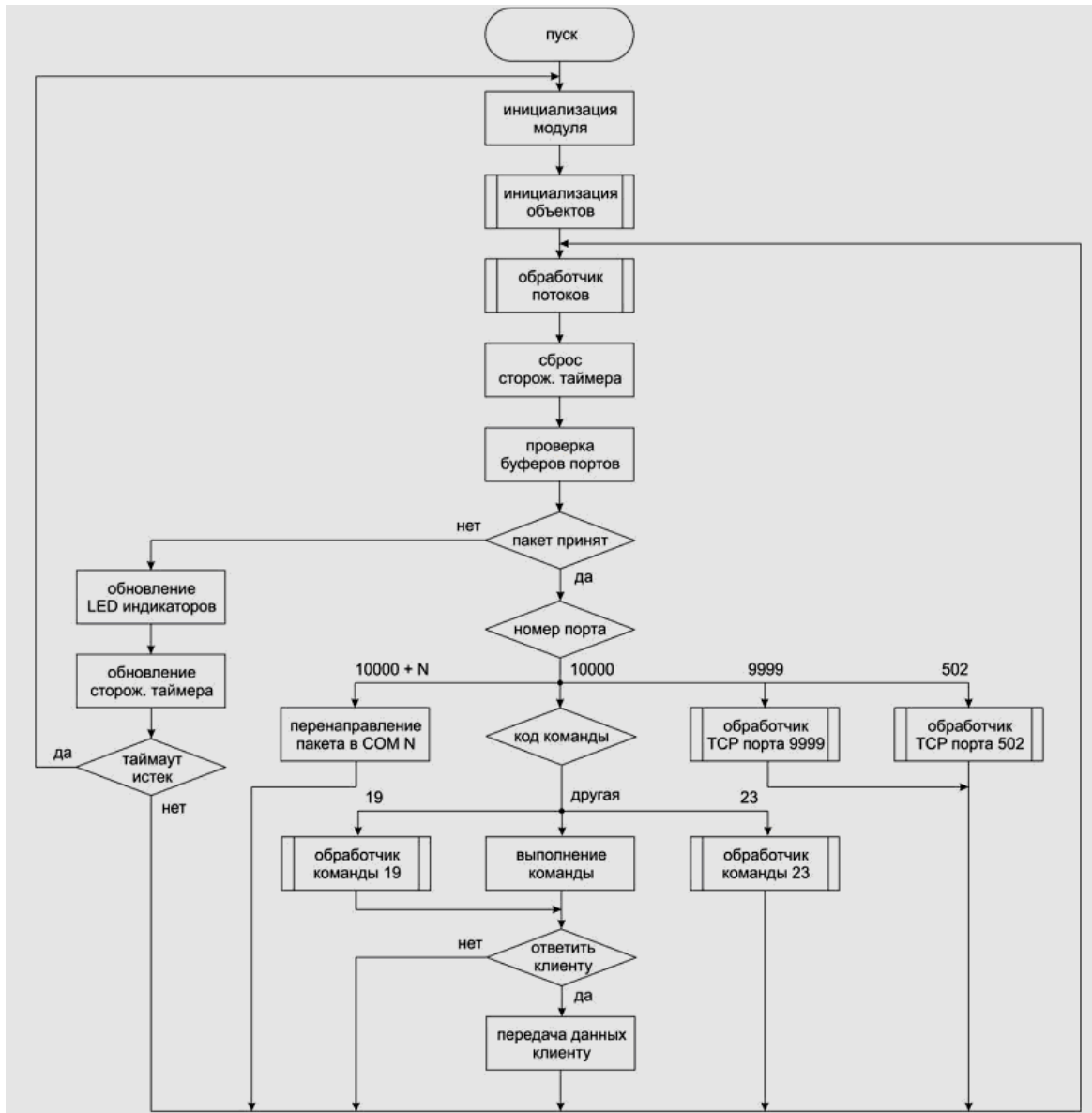


Рис. 3.12. Блок-схема обобщенного алгоритма работы контроллера

На этапе инициализации выполняется чтение из внутренней памяти ПЛК информации о подключенном оборудовании и настройка соответствующих программных структур. Подпрограммы-обработчики команд 19 и 23 обеспечивают гибкое конфигурирование контроллера (в частности, количество и тип подключенного оборудования, параметры обмена данными и т.п.) через терминал (*Telnet*, порт 10000). Подпрограмма – обработчик порта 502 обеспечивает возможность дополнительной обработки *Modbus*-запросов, а подпрограмма – обработчик порта 9999 – виртуализацию подключенных модулей ввода/вывода *I-7000*. Программный модуль *VxCommDriver* обеспечивает виртуализацию задан-

ных портов контроллера на компьютере *АРМ*, даже если он не оснащен дополнительными последовательными портами.

В соответствии со спецификациями локальной сети на задачи, использующие каналы связи (последовательные порты и *Ethernet*), накладывается ограничение – к каждому последовательному каналу связи может быть привязана только одна коммуникационная задача. Однако к каналу связи типа *Ethernet* можно привязывать несколько задач.

Формирование приложения (служебная задача ПЛК) обеспечивает инициализацию исполнительной системы, определение установленной конфигурации и запуск таких задач, как регулирование. После запуска всех задач это приложение переходит в режим ожидания.

Количество задач ПЛК и конфигурация каждой из них определяются инструментальной средой разработки. Задачи регулирования могут иметь различный приоритет. Если задачи, для которых создавались функциональные блоки (ФБ), имеют одинаковый период выполнения, то все схемы ФБ выполняются одним пакетом программ в порядке их расположения в проекте. Если у какой-либо задачи период выполнения отличается, то его схема ФБ выполняется в отдельной задаче.

Программа регулирования, например, написанная на языке *FBD* – *Function Block Diagram*, состоит из последовательности программных функциональных блоков (ФБ). ФБ представляет собой реализацию какого-либо алгоритма обработки параметров. Каждый ФБ имеет кратность выполнения, равную или большую 1. При кратности, равной 1, ФБ выполняется каждый цикл выполнения программы пользователя, при кратности 2 – каждый второй цикл, начиная с первого, и т.д. При кратности, равной нулю, ФБ не выполняется.

Примерный алгоритм пуска системы автоматизации парового котла имеет вид, показанный на рис. 3.13.

Управляющая программа должна осуществлять:

- штатный пуск и останов технологических установок, их аварийный останов, как по команде с верхнего уровня, так и по командам со шкафа;
- управление исполнительными устройствами;
- индикацию состояния элементов автоматики, положения клапанов, сигналов измерения и передачу их на верхний уровень.

При начальной загрузке управляющей программы должен выполняться ряд этапов (рис. 3.13).

Функции управляющей программы должны реализоваться следующими процедурами программы ПЛК:

1. Инициализация значений переменных (только в первом цикле программы).

2. Проверка на достоверность кода входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Масштабирование значений параметров, представленных аналоговыми сигналами.

3. Контроль значений параметров, представленных аналоговыми и дискретными сигналами.

4. Формирование признаков – результатов вычисления функций, необходимых для реализации технологического автомата.

5. Выполнение логики автомата управляющей программы (основная функция – формирование команд управления приводами: переход на работу следующего по статусу ИУ при его неисправностях).

6. Контроль состояния и управление приводами (основная функция – формирование выходных сигналов контроллера для управления приводами).

7. Процедуры поддержки обмена по *Ethernet*-сети. Основная функция – формирование выходного буфера обмена для передачи по сети.

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.

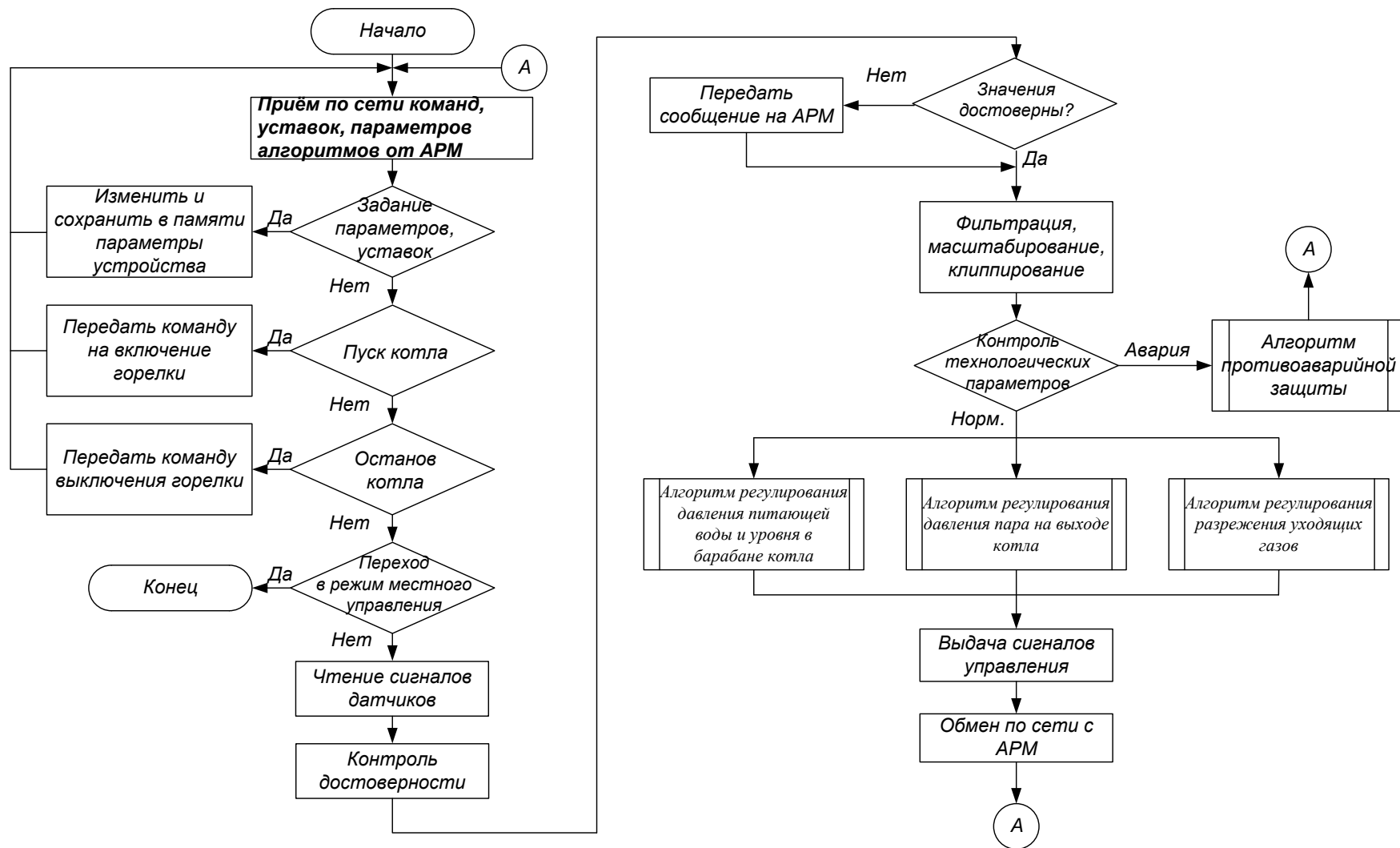


Рис. 3.13. Блок-схема алгоритма пуска автоматизации парового котла котельной на месторождении нефти

Деление частей программы ПЛК на циклические и с прерыванием. В начале каждого программного цикла система производит опрос состояний сигналов на входах и сохраняет их в буфере, создавая «образ процесса» входных сигналов.

Большая часть программного регулирования и подчиненных ему функциональных звеньев выполнены так, что все динамические функциональные звенья (регулятор, импульсные формирователи, диспетчеры, фильтры и т.д.) вызываются через строго равные интервалы времени (эквидистанты). Временные интервалы задаются модулям в форме параметра интервала считывания (*CYCLE*). Регулятор вызывается в так называемой области прерываний. Эти прерывания прерывают циклическую программу (рис. 3.14) в произвольных местах через определенные временные промежутки и после обработки прерывания возвращают ее в место прерывания. Этим достигается высокая точность временных характеристик динамических звеньев. Однократное обслуживание в соответствии с программой всех входов/выходов ПЛК называется *циклом сканирования или рабочим циклом*, а время, затрачиваемое на это, – длительностью цикла сканирования и обозначается $T_{\text{ц}}$, которое характеризует быстродействие ПЛК и обычно указывается приведенным к 1 К (1 024) словам памяти. Для нормального функционирования ПЛК должно выполняться условие

$$T_{\text{ц}} < T_{\text{ср.им}},$$

где $T_{\text{ср.им}}$ – время срабатывания исполнительных механизмов.

Необходимость выполнения этого условия вызвана тем, что на входах ПЛК возможно появление помех, а, следовательно, и ошибочных сигналов о срабатывании того или иного датчика, что может привести к ошибочному формированию выходных сигналов ПЛК и к аварии на управляемом объекте. В случае если условие выполняется, исполнительный механизм не успевает включиться за один рабочий цикл ПЛК, а в следующем цикле, если помеха носит случайный характер, ошибочный управляющий сигнал выдан не будет. При проектировании систем управления с применением ПЛК рекомендуется *опрос состояний входов*, и особенно тех, состояния которых определяют возможность разветвления УП, *производить не один, а n раз* и только после *n*-кратного подтверждения состояния конкретного входа *использовать эту информацию* для последующей логической обработки.

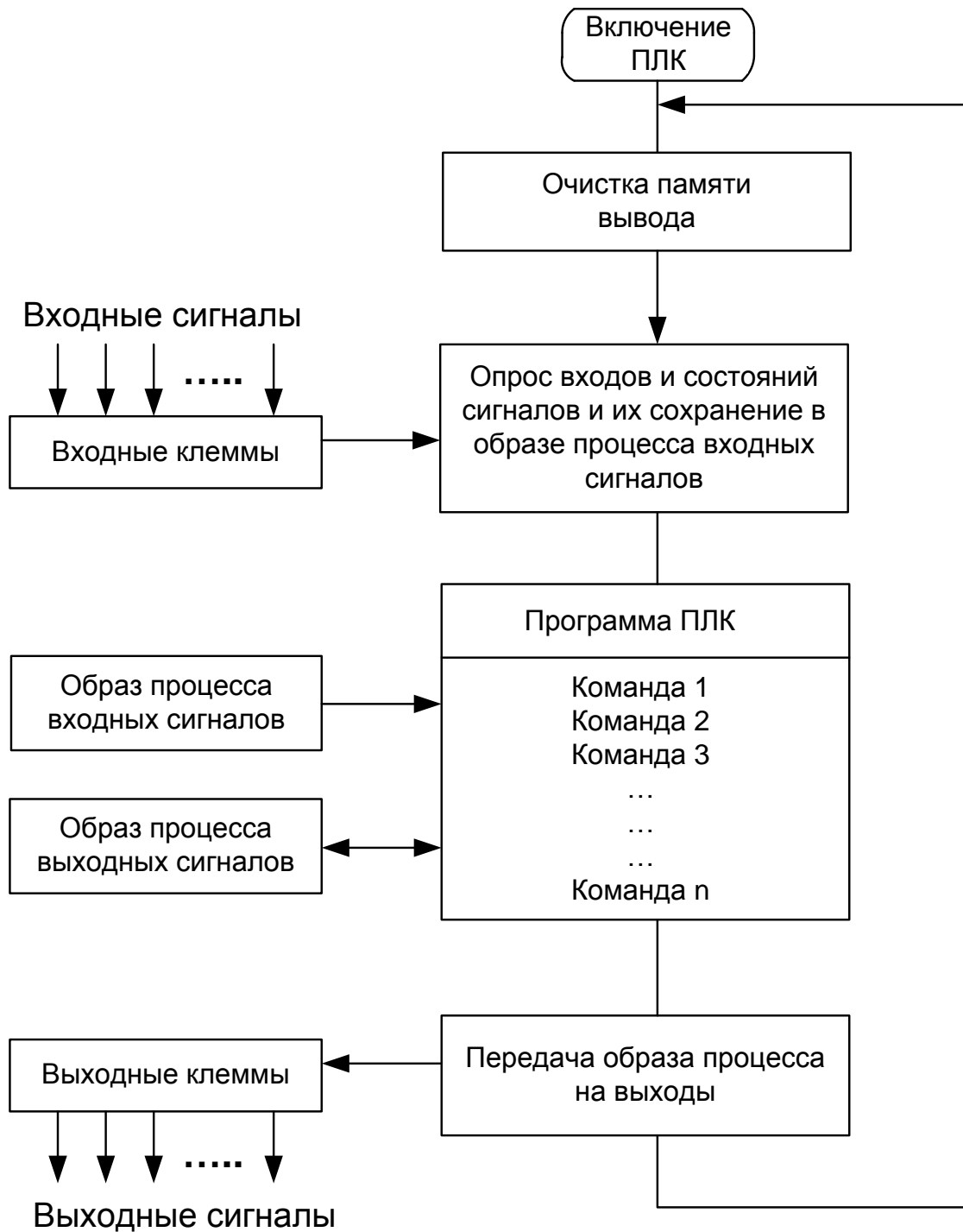


Рис. 3.14. Алгоритм циклического сканирования каналов измерения управления

В общем случае контролируются шесть предельных значений измеряемого параметра (перечислены в порядке возрастания значения):

- минимальное аварийное значение;
- минимальное предельное значение;

- значение технологического минимума;
- значение технологического максимума;
- максимальное предельное значение;
- максимальное аварийное значение.

При достижении предельного значения устанавливается соответствующий флаг *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.

Вызов программного регулятора в ПЛК. Все программные блоки, выполняющие регулирование, должны обрабатываться в специально определенных равных временных интервалах. Устройства регулирующих функциональных модулей (аппаратных регуляторов) освобождены от установки этих временных интервалов, т.к. эти модули (*FM*) работают всегда в реальном времени.

Установка интервалов считывания для модульно построенного программного регулирования является важным моментом при проектировании. Неправильно установленные временные характеристики или излишне нагружают рабочие ресурсы процессора, или же отрицательно влияют на динамику регулирования, и регулятор работает плохо. Недостатком такого метода является то, что так сформированные интервалы не позволяют обработать достаточно много программ. При довольно большой загрузке появляется опасность, что нормальная циклическая программа едва ли сможет работать или же управление остановится, поскольку прерывание будет пытаться прервать себя следующим прерыванием.

Чтобы этого избежать, должно быть выполнено разумное разделение частей программы на ациклическую часть и на программные части прерывания. Программные части прерывания должны быть распределены в соответствии с техническими требованиями процесса. В одном регулирующем контуре могут участвовать многие динамические функциональные звенья, которые при необходимости могут включаться в различные уровни прерывания.

Существует три основных режима обработки параметра:

- обработка полевого значения;
- маскирование полевого сигнала;
- имитация полевого сигнала.

Все режимы являются взаимоисключающими и устанавливаются только с АРМ оператора.

В режиме *Имитация* полевой сигнал не контролируется, выходному сигналу присваивается значение, заданное оператором.

В режиме *Маскирование* полевой сигнал не контролируется, выходному сигналу присваивается значение логического «0».

В режиме *Обработка* полевого значения выходному сигналу присваивается реальное текущее значение параметра. В том случае, если действующее значение полевого сигнала равно логическому «0», выходной сигнал инвертируется. Таким образом, активное значение параметра принимает значение логической «1».

Контролируется достоверность параметра на основе сигнала диагностики от модуля аналогового ввода, а также достоверность измеряемого параметра по заданным инженерным пределам измерения. В данном режиме выполняется контроль предельных значений параметра. В режиме обработки полевого значения контролируется достоверность параметра по следующим признакам:

- недостоверность в канале модуля аналогового ввода;
- выход за нижний предел измерения (диагностируется как обрыв в канале измерения);
- выход за верхний предел измерения (диагностируется как короткое замыкание в канале измерения);
- максимально допустимая скорость изменения значения параметра при нарастании или уменьшении значения.

При наличии хотя бы одного из вышеперечисленных признаков устанавливается статус «Недостоверное полевое значение». Статус недостоверности деблокируется по команде оператора (в режиме *Обработка* полевого значения) либо при установке режима *Имитация* или *Маскирование*.

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 от воды и пыли (код IP)».

Задание по выбору 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 на ПЛК в ПЗ.

По результатам выбора необходимо привести блок-схему системы ввода/вывода (УСО) ПЛК (рис. 3.1), технические характеристики УСО и ПЛК и заполненный опросный лист.

3.2. Выбор датчиков

Выбор датчиков технологических параметров осуществляется 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, характеризуемая его постоянной времени.
5. Влияние внешних факторов окружающей среды (температуры, давления, влажности) на нормальную работу датчиков. Разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды, агрессивных свойств. Наличие в месте установки датчиков недопустимых для его нормального функционирования вибраций, магнитных и электрических полей, радиационного излучения и др.
6. Возможность применения датчика с точки зрения пожара и взрывобезопасности.

Раздел выбора измерительных устройств АС в базовом варианте проектной документации включает в себя:

- оценку потребных метрологических характеристик;
- разработку спецификации;
- подготовку листа опроса и выбор устройства;
- расчет или выбор присоединительных компонентов (закладных);
- выбор или проектирование *закладной* конструкции.

Унификация и 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.

Выбор первичных измерительных преобразователей осуществляют в два этапа. На первом этапе выбирают разновидности первичных измерительных преобразователей, например, для измерения температуры выбирают термопреобразователь сопротивления или термоэлектрический преобразователь.

На втором этапе определяют типоразмер (совокупность технических характеристик) выбранной разновидности первичного измерительного преобразователя, например, термопреобразователь сопротивления платиновый с номинальной статической характеристикой (НСХ) чувствительного элемента (ЧЭ) 100П (*Pt* 100), тип термопреобразователя – ТСП-0193. В ГОСТ Р 8.625-2006 с учетом НСХ нелинейность статической характеристики термопреобразователя рассчитывается по специальным таблицам. Но на практике также применяют упрощенные расчеты. Так как сопротивление чувствительного элемента (ЧЭ) термопреобразователя меняется в зависимости от температуры в соответствии с формулой $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$, где R_0 – сопротивление при 0 °С, α – температурный коэффициент, то, например, для $R_0 = 100$ Ом α выбирается либо 0,00385, либо 0,00391. Но в ПЛК обычно вводится не α а коэффициент $W100$, представляющий собой отношение сопротивления ЧЭ при 100 °С к сопротивлению ЧЭ при 0 °С. Из вышеприведенной формулы следует, что для $\alpha = 0,00385$ $W100 = 1,385$, для $\alpha = 0,00391$ $W100 = 1,391$.

Выбор первичных измерительных преобразователей других технологических параметров (давления, расхода, уровня и состава рабочих сред) сводится в основном к учету упомянутых выше факторов и выбору первичных измерительных преобразователей с соответствующими техническими характеристиками.

Информация об областях и условиях применения первичных измерительных преобразователей наиболее полно приведена в инструкциях по эксплуатации заводов-изготовителей технических средств автоматизации.

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.).

В дальнейшем при рассмотрении первичных измерительных преобразователей различных физических величин, воспринимающих входную физическую величину и преобразующих ее в измерительный сигнал, будет использоваться как термин «первичный измерительный преобразователь», так и термин «датчик».

Обычно датчик (ПИП) состоит из двух частей (рис. 3.15) – измерительной головки (*sensorhead*) *XE* (например, *TE*, *PE*) и преобразователя (*transducer*) *XT* (например, *PT*, *TT*). Измерительная головка (или первичный преобразователь) непосредственно реагирует на контролируемый параметр «X» и преобразует его в электрический параметр (*R*, *C*, *L*, *U*, *I*), пневматический или гидравлический сигналы. Во многих случаях вторичный преобразователь (*XT*) преобразует полученный от первичного преобразователя сигнал в выходной сигнал датчика, токовый сигнал 4...20 мА (рис. 3.15). Так первичный преобразователь термопара *TE* – преобразует температуру *T* в термоЭДС, а затем вторичный преобразователь преобразует термоЭДС в сигнал 4...20 мА (*TT*).



Рис. 3.15. Структура датчика:

Вх – контролируемый параметр; Вых – выходной сигнал датчика

Широкий диапазон датчиков разделен на два основных класса. К первому классу относятся устройства, предназначенные для определения порогового, предельного или приблизительного мгновенного значения измеряемой физической величины. Ко второму – устройства, способные производить измерения физических величин с заданной степенью точности.

Различают следующие основные выходные сигналы первичных измерительных приборов второго класса (рис. 3.16):

- 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 проекте следует ограничиться только четырьмя основными типами выходных сигналов.

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 датчики в технологиях нефтегазовой отрасли часто используются для дистанционного мониторинга расхода и суммирования потока посредством счетчиков.

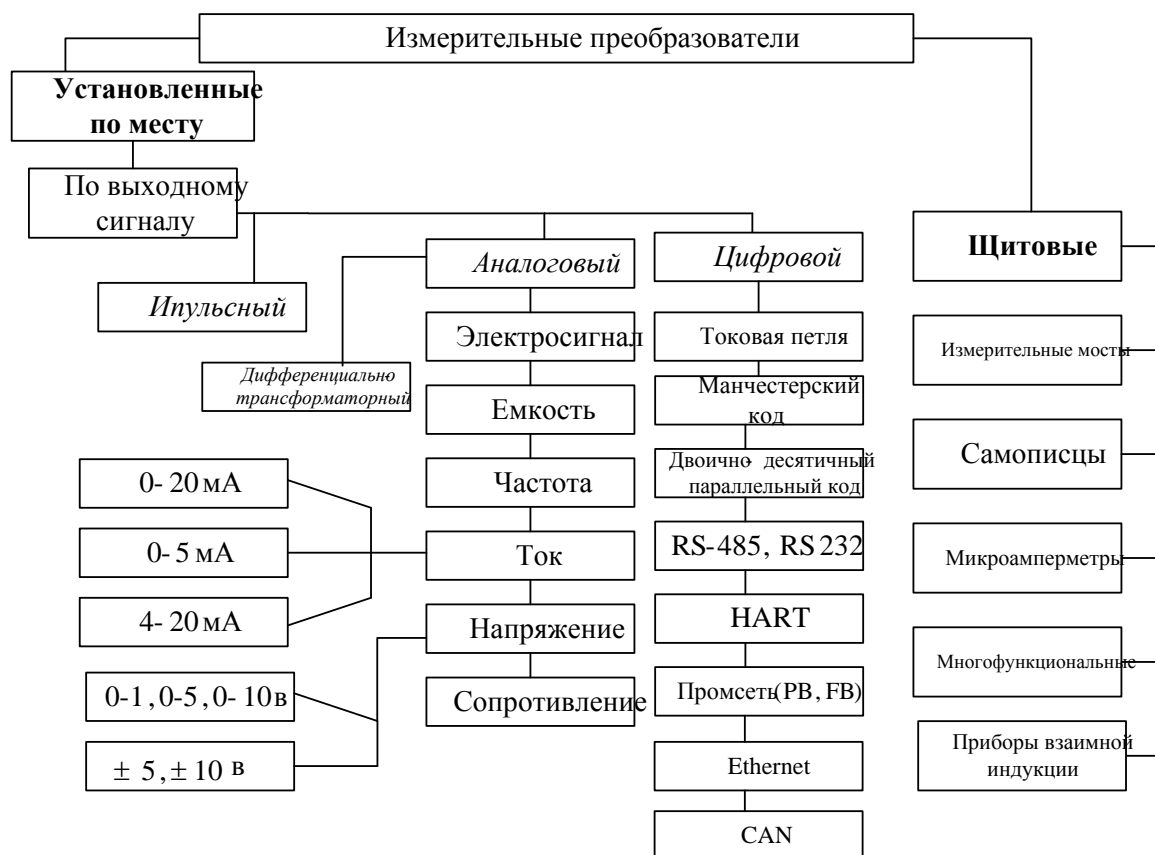


Рис. 3.16. Виды сигнально-измерительных устройств

ПИП с токовым аналоговым выходом имеют встроенный источник тока – генератор тока с некоторым внутренним сопротивлением $R_{ВН}$. Источник тока управляется функцией $f(x)$ измерения параметра x (рис. 3.17). Ток $i = f(x)$ поступает в линию связи и на входном нагрузочном резисторе $R_{Н}$ вторичного преобразователя создает соответствующее падение напряжения, которое далее преобразуется в цифровое значение измеряемого параметра x . ПИП данного вида имеют, как правило, унифицированные выходные сигналы.

Унифицированный сигнал государственной системы приборов (ГСП) – это сигнал дистанционной передачи информации с унифицированными параметрами, обеспечивающий информационное сопряжение между блоками, приборами и установками. В зависимости от вида унифицированных параметров применяют унифицированные сигналы 4 групп:

1. Тока и напряжения электрические непрерывные.
2. Частотные электрические непрерывные.
3. Электрические кодированные.
4. Пневматические.

Электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 9895-78, ГОСТ 26.013-81, ГОСТ 26.010-80 следующие:

- токовые сигналы постоянного тока: 0...5 мА, –5...+5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА;
- сигналы по постоянному напряжению: 0...10 мВ; –10...+10 В; 0...24 В; 0...48 В; 0...110 В; 0...220 В;
- сигналы по переменному напряжению: 0...1 В; 0...2 В; 0...36 В; 0...127 В; 0...220 В;
- частотные электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 10938-75: 0...8 Гц; 2...4 Гц; 2...4 Гц; 0...10 Гц.

Пневматические сигналы по ГОСТ 26.015-81: 0,02...0,1 МПа (аналоговый сигнал) и 0, ... 0,01 – 0, 110, ... 0,154 МПа (дискретный сигнал).

Применение унифицированных сигналов регламентировано ГОСТ 26.011-80.

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 нескольких сотен метров [наибольшая длина (500 м и более) – для сигнала 0...5 мА]. Число проводов связи между ПИП и ВИП – 2, 3, 4 и даже больше. Оно зависит от схемы подключения источника питания или от типа чувствительного элемента ПИП (например, термосопротивление).

Поставщики измерительных приборов часто ориентируют потребителей на двухпроводный вариант подключения при токовом сигнале {4...20} мА и четырехпроводное соединение при {0...20} мА (рис. 3.17).

Среди стандартных сигналов тока и напряжения наиболее удобным и популярным является *токовый сигнал* 4...20 мА. Токовый сигнал может передаваться на большие расстояния (до нескольких километров) в сравнении с сигналом напряжения. Этот сигнал рекомендуется стандартом IEC 381. Минимальный уровень сигнала определен как 4 мА, чтобы можно было обнаружить разрыв цепи (0 мА).

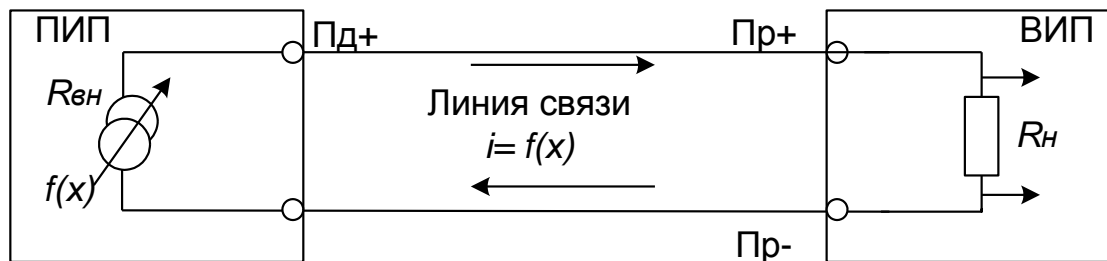


Рис. 3.17. Двухпроводная токовая связь ПИП и ВИП

Причины этого предпочтения объясняются тем, что такой сигнал наилучшим образом решает проблемы, связанные с передачей сигналов от удаленных датчиков к вторичным измерительным приборам.

Так как сигналы первичных преобразователей, как правило, очень малы, например, сигналы термопар обычно меньше 50 мВ, то 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.

Для передачи токовых сигналов 4...20 мА можно использовать соединительные провода, более дешевые по сравнению с другими.

Еще одним преимуществом токового сигнала 4...20 мА является то, что при работе с ним легко обнаружить обрыв линии связи: если ток будет равен нулю, то это 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.

При передаче токовых сигналов выходное напряжение датчика преобразуется операционным усилителем в ток. Приемник – операционный усилитель на конце цепи – в идеале должен иметь нулевой входной импеданс. Преобразователь напряжения в ток – это стандартный элемент цепи. Для передачи сигнала может использоваться витая пара. Шунтирующий резистор для преобразования тока в напряжение в диапазоне до 10 В должен иметь величину порядка 500 Ом.

В действительности, импеданс определяется шунтом и обычно имеет порядок нескольких сотен Ом. Для тока 20 мА при сопротивлении шунта 250 Ом падение напряжения будет составлять 5 В. Если источник сигнала, т.е. преобразователь напряжения в ток, имеет высокий выходной импеданс, тогда любая помеха при передаче приведет к небольшому, обычно допустимому падению напряжения на шунте.

Токовые сигналы, как правило, используются на низких частотах до 10 Гц. При постоянном токе и идеальной изоляции сопротивление кабеля не влияет на сигнал, т.е. величина тока на входе приемника – обрабатывающей схемы – такая же, как на выходе источника сигнала. При переменном токе влияние емкостного эффекта становится заметным и часть тока будет теряться по длине кабеля, уходя либо в обратный провод, либо в заземленный экран.

Схемы подключения *источников питания* (БП) и вторичных преобразователей к датчикам (Метран) в схеме 4...20 мА и 0...20 мА показаны на рис. 3.18.

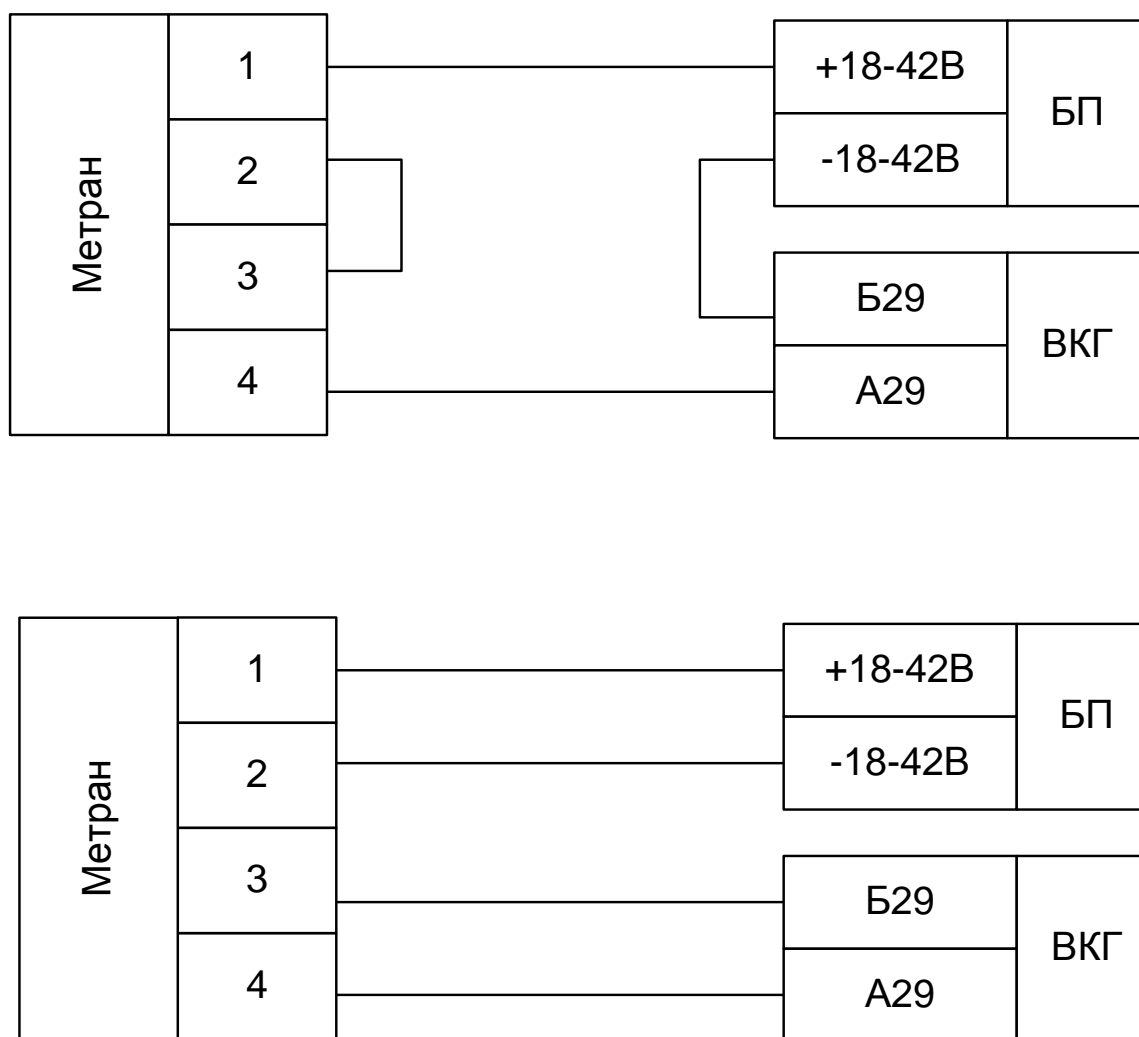


Рис. 3.18. Схемы подключения 4–20 мА и 0–20 мА

При использовании *датчиков с напряжением* в качестве выходного сигнала рекомендуются трехпроводные схемы. В этом случае, по одному проводу течет постоянный ток для питания датчика, по другому проводу

поступают сигналы от датчика к согласующим и обрабатывающим устройствам, а третий провод является общим для обоих контуров. По двум проводам течет постоянный ток; по сигнальному проводу ток не течет и, следовательно, нет падения напряжения. Преимущество этого решения в том, что изменения сопротивления сигнального провода, например, из-за колебаний температуры, не сказываются на сигнале: по этому проводу не течет ток и, следовательно, на нем нет падения напряжения.

Для подключения термодатчиков-термосопротивлений используются специальные схемы: двух-, трех- и четырехпроводная (рис. 3.19).

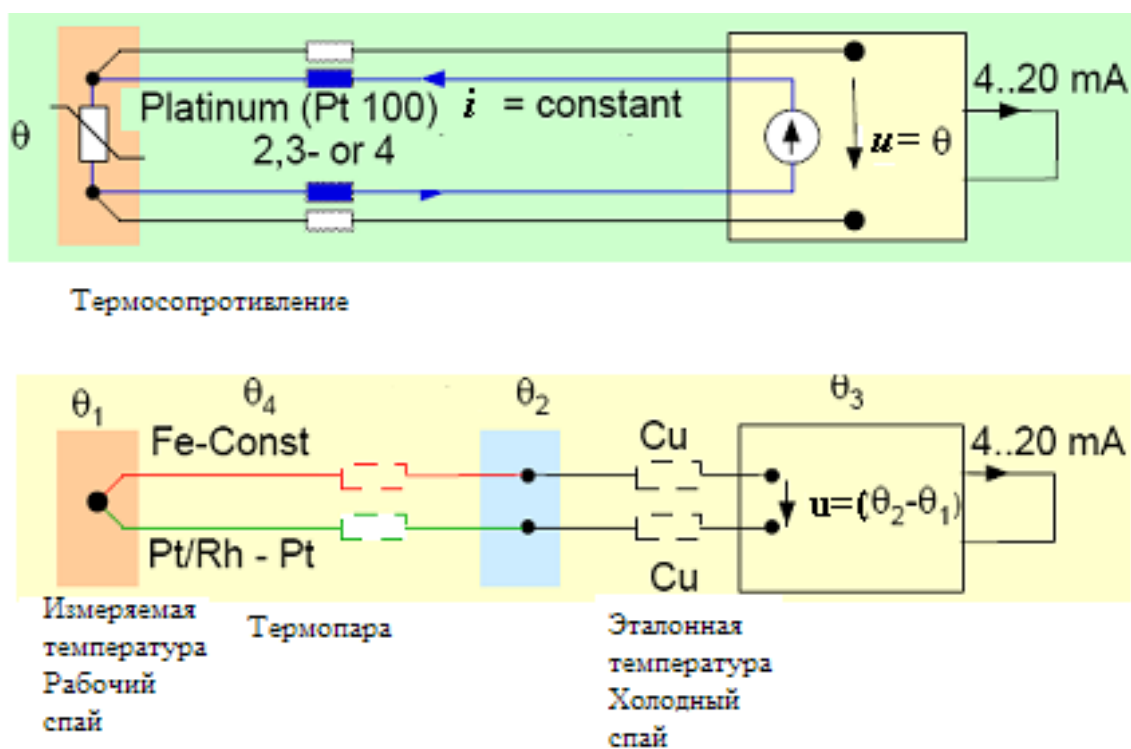


Рис. 3.19. Схемы подключения термосопротивлений и термопар

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

Влияние сопротивления линий соединений в трехпроводной схеме устраняется путем компенсации сопротивлением третьего провода. Компенсацию осуществляют, предполагая, что падения напряжения на проводах одинаковы. Это верно при равенстве сопротивлений проводов

линий соединений. Погрешностью, вносимой отсутствием точного равенства, обычно можно пренебречь. Однако для прецизионных измерений лучше использовать четырехпроводную схему подключения термосопротивлений.

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

Однако и эта схема имеет недостатки. Дело в том, что наряду с разбалансом плеч есть еще такой параметр, как активное сопротивление линий соединений. 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 термосопротивления. 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 линий соединений, на которое работают их изделия. Как показали проведенные ООО «Ленпромавтоматика» эксперименты с продукцией ведущих мировых производителей ВИП, значимая погрешность появляется при увеличении сопротивления одной из линий соединений свыше величины порядка 30 Ом. Эта величина обосновывается тем, что если линии соединений – это медные провода и клеммы, то нет причин предполагать, что 30 Ом будет недостаточно, ведь при сечении 1 мм² это сопротивление соответствует 1 714 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_{min} или i_{max} , 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). Различают аналоговую версию токовой петли и цифровую. Аналоговая версия «токовой петли» обычно реализуется на сигнале в пределах 4...20 мА. Цифровая *CL* представляет собой двух- и четырехпроводную линию, образующую токовую петлю с дискретно переключаемым источником тока и приемником. Последовательные данные от источника к приемнику (рис. 3.20) 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, а другое – пассивным (приемником). В передатчике *CL* используется источник тока, а это означает, что ток в цепи *CL* не зависит от сопротивления кабеля, поэтому с использованием *CL* можно реализовывать протяженную линию передачи.

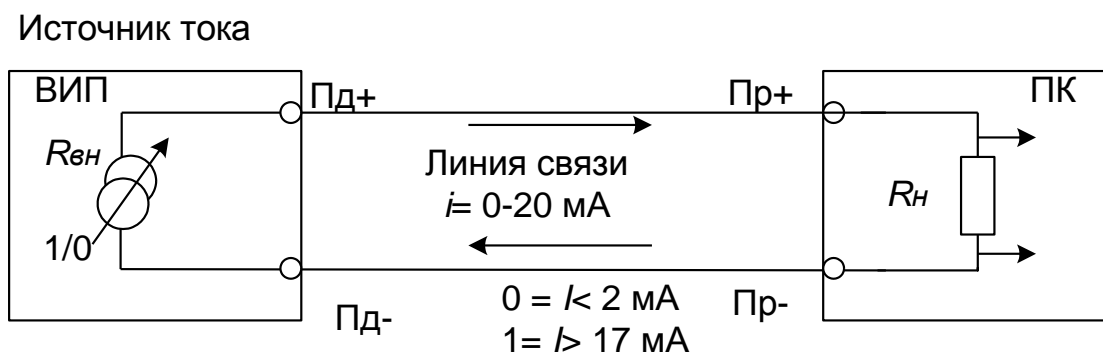


Рис. 3.20. Соединение ВИП с компьютером линией связи типа *CL*

Это приводит к опасности внешних помех и перенапряжений. Поэтому схемы передатчика и приемника линии гальванически развязываются за счет использования оптронов и изолированных источников питания. В качестве линии передачи обычно используется экранированная витая пара, что позволяет ослабить индуктивную и синфазную помеху.

Максимальная скорость передачи сигналов по цифровой токовой петле – 9 600 бит/с при длине линии связи до 300 м. Снижая скорость передачи, можно почти пропорционально увеличивать длину линии: на скорости 1 200 бит/с длина линии увеличивается до 2 000 м. Низкая скорость передачи данных является основным недостатком ее применения. Популярность *CL* начала падать после появления стандарта *RS-485*.

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 (четырёхпроводный вариант). Скорость передачи данных по интерфейсу *RS_232C* составляет от 50 до 19 200 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 1 200 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 пакет: байт

данных, который 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 (рис. 3.21, 3.22). 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.

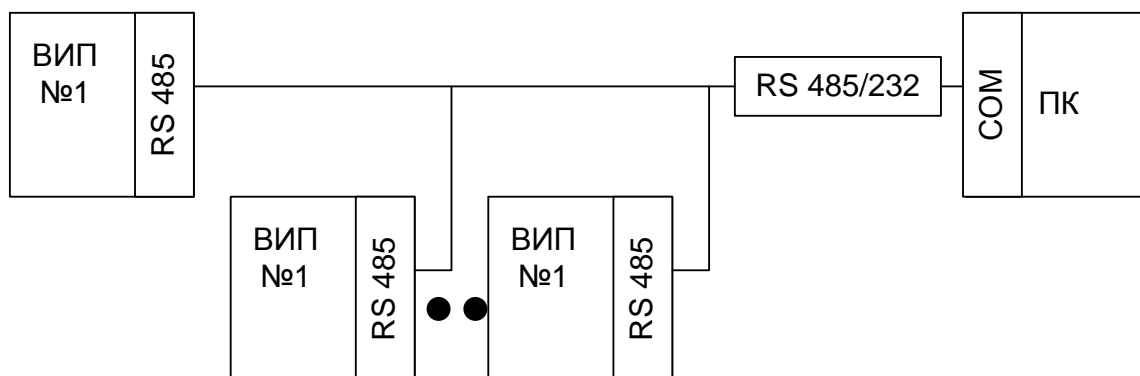


Рис. 3.21. Многоточечная связь по интерфейсу RS 485

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 (прил. 21).

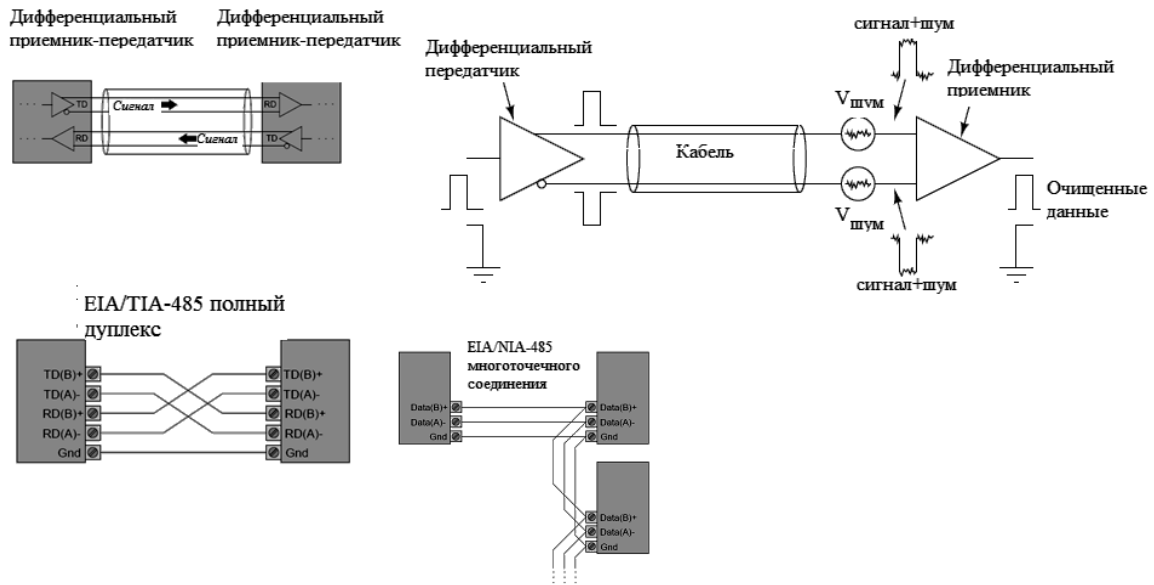


Рис. 3.22. Интерфейс RS-485

Схема взаимоотношения между узлами сети основана на принципе *MASTER/SLAVE*. В *HART*-сети может присутствовать до двух *MASTER*-узлов (обычно один), рис. 3.23. Второй *MASTER*, как правило, освобожден 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).

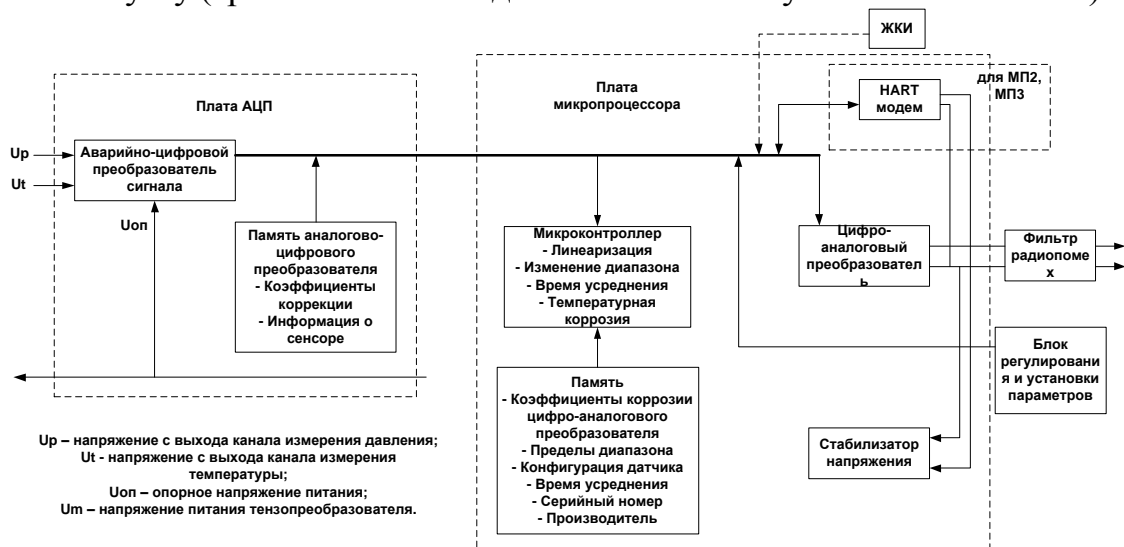


Рис. 3.23. Микропроцессорный модуль HART-датчика

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.

Сервисные преимущества датчиков с поддержкой HART-протокола:

- удобство обслуживания датчиков в условиях эксплуатации;
- сокращение затрат при монтаже;
- экономия времени на процедурах настройки и калибровки при вводе в эксплуатацию;
- экономия затрат и времени:
 - на техническое обслуживание датчиков за счет оперативного нахождения неисправностей;
 - сокращение количества выходов к месту установки датчиков для их проверки за счет удаленной диагностики и конфигурирования;
 - проведение периодических проверок (отсутствие необходимости таких проверок в течение 3 лет);
 - проведение ремонтов (расширен срок гарантийных обязательств поставщика до 3 лет);
 - возможность замещения импортных датчиков аналогичного назначения.

Схема внешних электрических соединений имеет вид, показанный на рис. 3.24, 3.25. На этих рисунках:

- БП – источник питания постоянного тока (Метран-602, -604 или другие аналогичные);
- БП-Ex – источник питания взрывозащищенного исполнения;
- К – коммуникатор (Метран-650, HC375 и другие аналогичные);
- К-Ex – для исполнения «Ex» (Метран-650-Ex и другие аналогичные);
- ПК – персональный компьютер;
- R_c – согласующий резистор с сопротивлением, совпадающим с волновым сопротивлением применяемого кабеля;
- R_n – сопротивление нагрузки (или суммарное сопротивление всех нагрузок) в системе управления (определяется параметрами барьера – в схемах с барьером искрозащиты или параметрами блока питания);
- X – клеммная колодка или разъем.

HART-коммуникатор исполнения «Ex» и *HART*-модем исполнения «Ex» могут быть подключены к любой точке цепи, включая взрывоопасную зону, максимальное количество подключаемых датчиков – 15 (рис. 3.25).



Рис. 3.24. Схемы подключения HART-датчика к каналу измерения и источнику питания

Рекомендуемый кабель для связи типа «витая пара» с волновым сопротивлением 120 Ом.

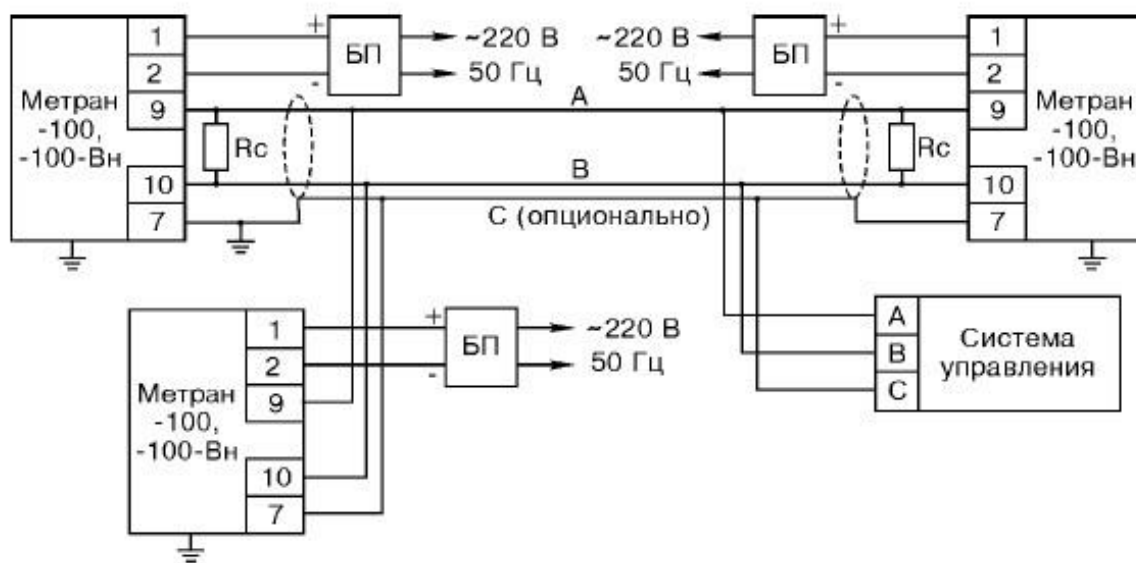


Рис. 3.25. Схема подключения нескольких HART-датчиков к системе управления

Согласующие резисторы подключаются к линии связи в наиболее удаленных точках. Допускается совместная прокладка в одном кабеле проводов цепей питания датчика и линии связи. Допускается питание нескольких датчиков от одного блока питания.

CAN-интерфейс представляет собой комплекс стандартов для построения распределенных промышленных сетей, который использует последовательную передачу данных в реальном времени с очень высокой степенью надежности и защищенности. В качестве физической среды в основном используется двухпроводная дифференциальная линия передачи сигнала напряжения, хотя возможно применение оптоволоконна 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.

Интерфейсы 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* (передача данных в *IEC 1158-2* осуществляется с помощью модуляции тока). 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.

В ПЗ необходимо привести обоснование выбора измерительных устройств ПЗ. Примерами выбора измерительных устройств являются следующие:

1. *Выбор термопреобразователей.*

Согласно нормативным документам технические *термопреобразователи* сопротивления имеют классы допуска *A*, *B* и *C*, где при классе допуска *A* предел основной допускаемой погрешности имеет минимальное значение, а при классе допуска *C* – максимальное значение; технические *термоэлектрические* преобразователи имеют классы допуска 1, 2 и 3, где при классе допуска 1 предел основной допускаемой погрешности имеет минимальное значение, а при классе допуска 3 – максимальное значение.

В диапазоне измерений $-50...+200$ °С рекомендуется применять *медные* термопреобразователи сопротивления, а при измерении более высоких температур применяются *платиновые* ТПС (термосопротивление) и ТЭП (термопара) различных градуировок; *платиновые* термопреобразователи сопротивления рекомендуется применять при необходимости обеспечения повышенной точности в диапазоне измеряемых температур $-50...+500$ °С, а в других случаях рекомендуется применять термопары (термоэлектрические преобразователи).

Расчет (выбор) гильзы термопреобразователя.

Для погружаемых термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей определяют монтажную длину (рис. 3.26) по формуле

$$L = h + S + 0,5D,$$

где L – монтажная длина термопреобразователя;

h – высота бобышки; $h = 50$ мм;

S – толщина стенки трубопровода;

D – внутренний диаметр трубопровода.

По полученному в результате расчета значению L выбирают стандартную монтажную длину термопреобразователя из ряда значений: 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000 мм.

При этом необходимо учитывать, что рабочий конец ТЭП должен быть погружен до центра трубопровода, а ТПС – на 10...20 мм ниже осевой линии трубопровода, т.к. термопреобразователи ТПС и ТЭП имеют различные конструкции чувствительных элементов.

Монтажную длину термопреобразователей для измерения температуры воздуха рекомендуется выбирать равной 500 мм, а для измерения температуры дымовых газов – 800 мм.

Рекомендуется также при выборе термопреобразователей применять хромель-копелевые $L(XK)$ и хромель-алюмелевые $K(XA)$ ТЭП. Для измерения температуры поверхностей теплоэнергетического оборудования в конкретной точке, например, температуры вкладышей подшипников дымососа и т.п., применяют поверхностные ТПС или ТЭП.

При выборе датчика температуры в проекте следует подготовить опросный лист (прил. 20).

Примеры заказов ТПС:

А. Термопреобразователь сопротивления погружаемый: НСХ 50 П, класс допуска В, монтажная длина – 250 мм. Промышленная группа «Метран», г. Челябинск. Тип: ТСП-0193-250.

Б. Термопреобразователь сопротивления: монтажная длина – 120 мм, предел допускаемой основной приведенной погрешности – 0,25 %, диапазон преобразуемых температур – 0 ... 300 °С, выходной сигнал 4...20 мА. Промышленная группа «Метран». Тип – Метран-276-120-0,25- ... 300) °С.

2. Выбор измерительных преобразователей давления

Для измерения давления в проекте возможен выбор ПИП типов ДА – абсолютного давления, ДИ – избыточного давления, ДД – разности давлений (перепада) и их производных модификаций:

- ДГ – гидростатического (столба жидкости, в т.ч. находящегося под избыточным давлением);
- ДУ – уровня (буйковые), измеряющие изменение гидростатической выталкивающей силы буйка.

Абсолютное ($P_{абс}$) – это полное давление с учетом атмосферного, отсчитываемое от абсолютного нуля.

Избыточное ($P_{изб}$) – это давление сверх атмосферного, равное разности между абсолютным и атмосферным:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм}.$$

Избыточное давление отсчитывается от «условного нуля», за который принимается атмосферное.

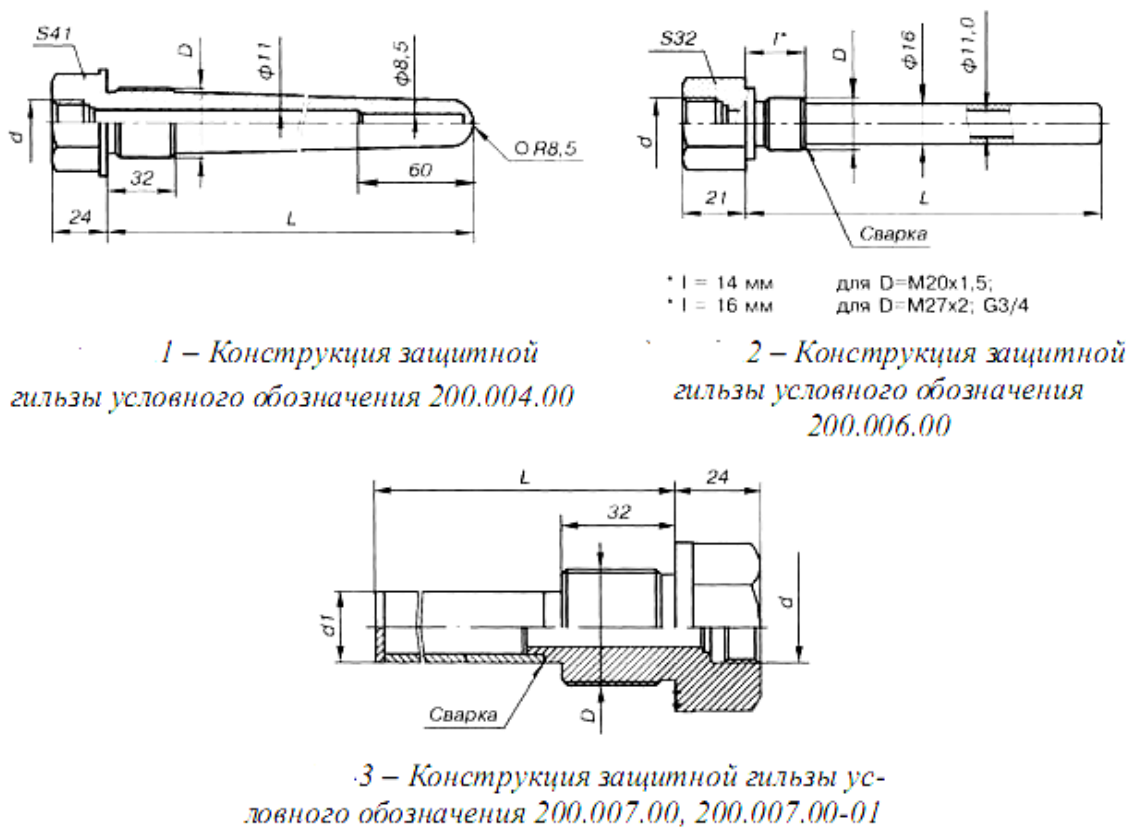


Рис. 3.26. Конструкция защитной гильзы термодатчика

Выбор типа датчика зависит от технологических приложений результатов измерения, которое обычно устанавливается нормативными документами. В большинстве случаев в НГО используются датчики избыточного давления (для мониторинга) и его разности для контроля расходов.

При выборе измерительных преобразователей давления необходимо учитывать следующие факторы:

- характер изменения измеряемого давления во времени (давление не изменяется, изменяется плавно, является пульсирующим);
- влияние среды, давление которой измеряется, на материал чувствительного элемента измерительного преобразователя;
- предельное рабочее давление (для датчиков перепада давления).

Пределы измерений измерительных преобразователей давления выбирают из ряда значений, приведенных в каталогах поставщиков – изготовителей средств автоматизации и справочниках.

Примеры заказов.

1. Преобразователь избыточного давления (0...40 кПа) микропроцессорный, предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,25 %, выходной сигнал – 0...5 мА. ПГ «Метран», г. Челябинск. Тип: Метран-43-Ех-ДИ-313-МП-0,25 %-40 кПа-0...5 мА.

2. Преобразователь избыточного давления (0...25 МПа) аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности – 0,5 %, выходной сигнал 4...20 мА. ПГ «Метран», г. Челябинск. Тип: Метран-43-ДИ-3173-0,5 %-25 МПа-4...20 мА.

3. Преобразователь разности давлений аналоговый, предел допускаемой основной приведенной погрешности – 0,5 %, верхний предел измерений – 400 кПа, предельнодопускаемое рабочее избыточное давление – 25 МПа, выходной сигнал – 4...20 мА. ПГ «Метран», г. Челябинск. Тип: Метран-43Ф-Вн-ДД-3494-03-0,5 %-400 кПа–25 Мпа-4...20 мА.

4. Преобразователь гидростатического давления микропроцессорный, предел допускаемой основной приведенной погрешности – 0,25 %, верхний предел измерений – 16 кПа, предельнодопускаемое рабочее избыточное давление 6 МПа, выходной сигнал – 4...20 мА. ПГ «Метран», г. Челябинск. Тип: Метран-43Ф-ДГ-3595-МП-0,25 %-16 кПа–6 МПа-4...20 мА.

Диафрагмы (сужающие устройства) предназначены для измерения расхода жидкостей пара и газа методом переменного перепада давлений (рис. 3.27). Диафрагмы, изготавливаемые ПГ «Метран» (г. Челябинск), рассчитаны на условные давления до 10 МПа и на условные диаметры трубопроводов от 50 до 1200 мм. В зависимости от конструкции, способа установки, условного давления и условного диаметра трубопровода выделяют следующие диафрагмы:

- ДКС (исполнение 1 или 2) – диафрагма камерная, устанавливаемая во фланцах трубопровода;
- ДБС – диафрагма бескамерная, устанавливаемая во фланцах трубопровода;

- ДФК – диафрагма фланцевая камерная, сочетающая камерный способ отбора перепада давления и фланцевое соединение: используется в трубопроводах с условным проходом менее 50 мм и условным давлением 10 МПа. Диск диафрагмы изготавливается в соответствии с РД 50-411-83.

Возможные варианты диска диафрагмы ДФК по РД 50-411: с коническим входом, износостойчивые, стандартные диафрагмы для трубопроводов с внутренним диаметром менее 50 мм. Материал диска диафрагмы – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632, материал корпуса камер – сталь 20 ГОСТ 1050 или сталь 12Х18Н10Т.

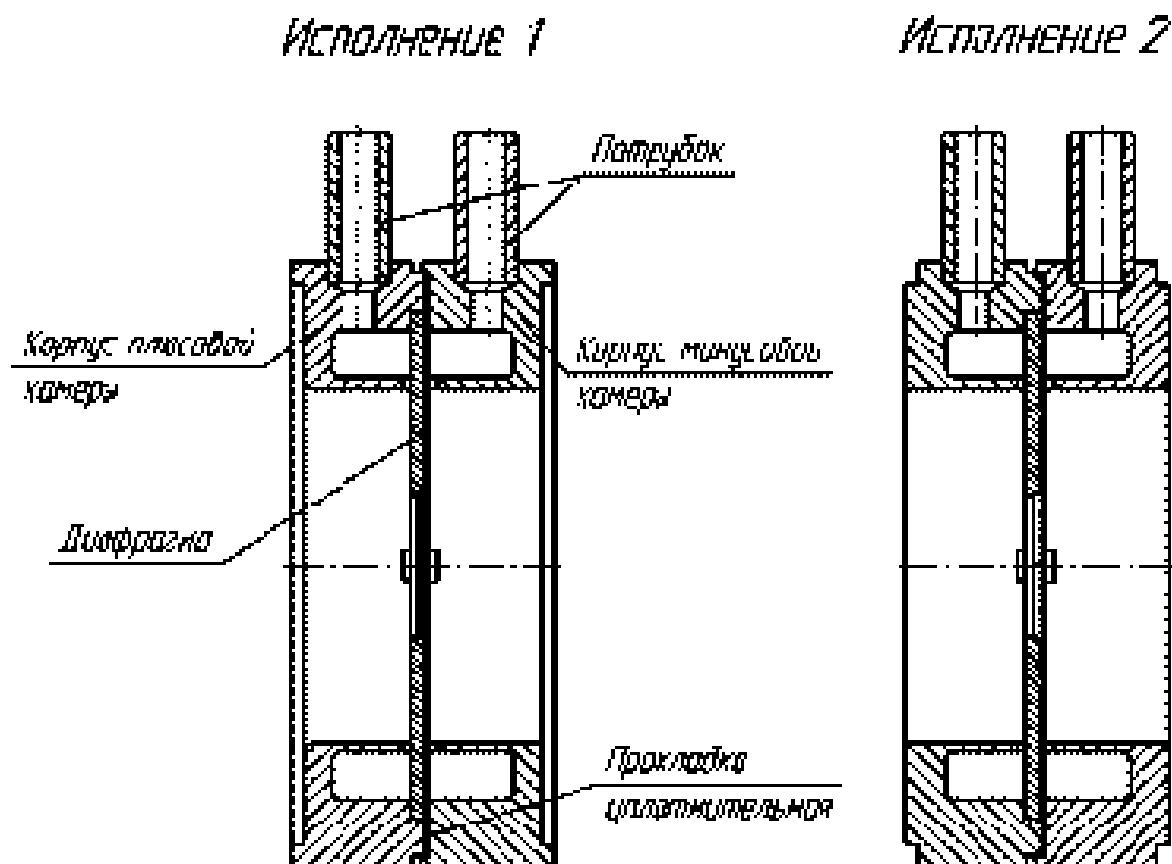


Рис. 3.27. Конструкция диафрагмы для измерения расхода

Современные датчики оснащаются *IQ (Intellect Quality)* – сенсорными устройствами (*IEEE 1451.2, ISO/IEC/IEEE 21450*), которые позволяют за счет математической обработки информации непосредственно в процессе измерения и активного управления измерением повысить точность, осуществлять необходимую диагностику состояния датчиков и активно перенастраивать их режим работы (рис. 3.28).

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.

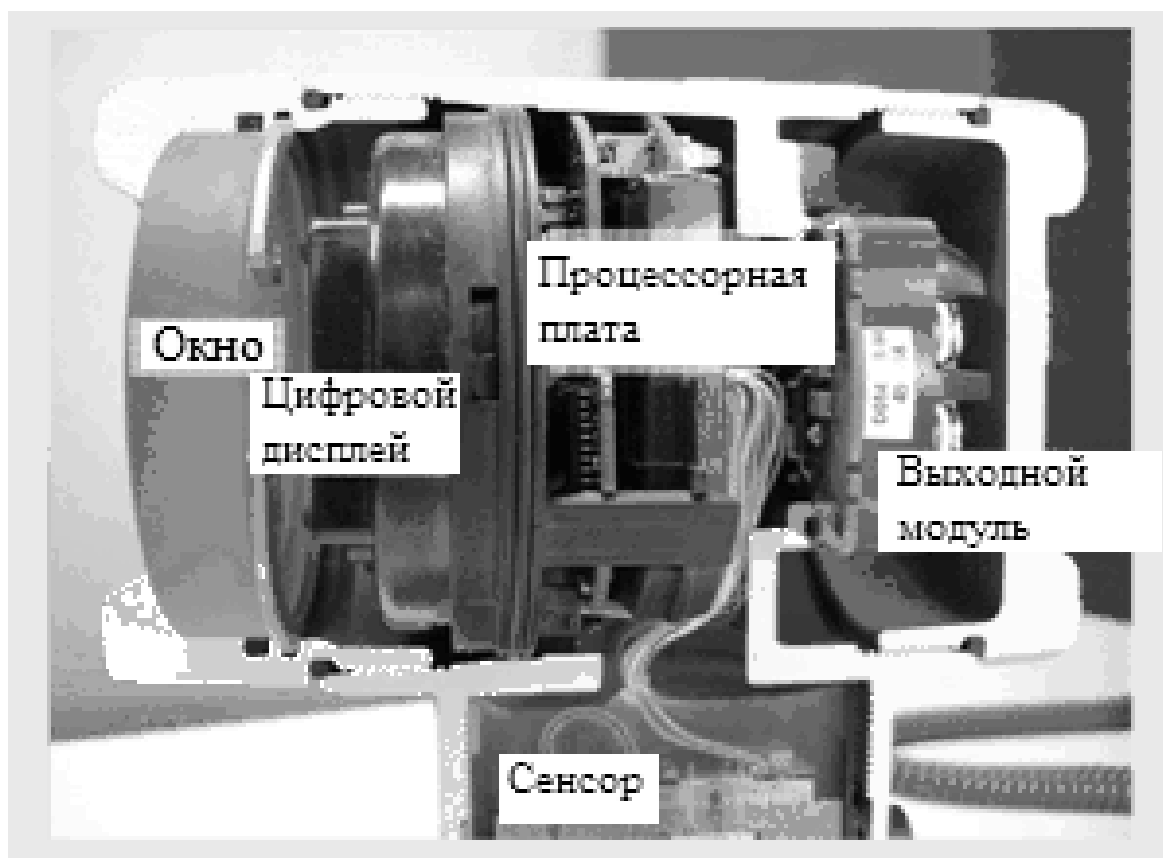


Рис. 3.28. Интеллектуальный датчик

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.

Закладные конструкции. Для установки измерительных устройств на корпус технологической установки используются закладные конструкции. Закладные конструкции на технологическом оборудовании и коммуникациях, трубопроводах, газоходах, воздуховодах служат для установки термодатчиков, приборов для измерения давления, уровня, качества вещества, запорной арматуры, присоединения импульсных линий. В проекте АС обычно необходимо указать тип или чертеж закладной конструкции.

Задание по выбору датчиков АС

Выбор датчика осуществляют в два этапа. На первом этапе выбирают разновидность датчика, например, для измерения температуры, – термопреобразователь сопротивления, термопару или манометрический термометр.

На втором этапе определяют технические характеристики выбранной разновидности датчика, например, терморезистор медный; номинальная статическая характеристика НСХ – 100 М, тип ТСМ-1088, модель – метран-206-100 М.

Информация о технических характеристиках и области применения датчиков приводится в инструкциях предприятий-изготовителей.

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, камеру, 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/ч 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, RS 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 т.ч. расходы в процессе их эксплуатации);

- *IQ*-уровень обработки сигналов измерения;

- марку датчика;

- положительный опыт применения датчика (в т.ч. анализ возможностей технической поддержки в период эксплуатации, показатель применимости и др.).

Для обеспечения электрообогрева датчиков в температурных условиях сибиря применяются импульсные трубки с электрообогревом *IMPL0* ЗАО «Трастинтек». Они

- поддерживают заданную температуру среды;

- надежно защищают от замерзания;

- быстро и легко монтируются;

- исключают возможность конденсации и кристаллизации рабочей среды;

- могут подключаться к датчикам давления, потока, уровня и анализаторам;

- максимальная температура поддержания: до +65 °С;

- максимальная температура рабочей среды: +85 °С;
- мощность греющего кабеля: от 9 Вт/м до 65 Вт/м;
- маркировка взрывозащиты: 0Ex sa II T6/T5/T4 Ga X; 1Ex e II T6/T5/T4 Gb X.

3.3. Нормирование погрешности канала измерения

Выбор диапазона измерений преобразователей и измерительных приборов должен учитывать возможные значения контролируемого параметра в условиях нормальной работы, а также при проведении некоторых вспомогательных операций: очистки трубопроводной оснастки и т.п. Принято считать, что номинальное значение измеряемого параметра должно составлять примерно 2/3 от шкалы прибора. Однако следует учитывать характер изменения контролируемой величины. Для большинства технологических измерений максимальное значение контролируемой величины может лежать в пределах последней четверти диапазона шкалы. При резких изменениях нагрузки этот максимум должен находиться в пределах 0,5...0,7 от диапазона шкалы.

Выбор класса точности преобразователей и измерительных приборов производится, исходя из допустимого предельного значения погрешности измерения. Обычно класс точности измерительных приборов в нефтегазовой отрасли составляет 0,25...1,5. В случае, когда точность измерения не регламентирована, можно руководствоваться следующими рекомендациями по выбору класса точности средств измерений:

- класс 0,5 – приборы для контроля и регистрации ответственных параметров, характеризующих качество процесса;
- класс 1...1,5 – приборы среднего класса точности;
- класс 2,5 – приборы для измерения параметров, непосредственно не влияющих на качество продукта и работу аппарата;
- класс 4,0 – грубые приборы для оценки измерений неотчетливых параметров.

Нормирование метрологических характеристик измерительных каналов относится к одному из видов деятельности по метрологическому обеспечению измерительных систем в соответствии с ГОСТ Р 8.596. Стандарт указывает, что информационный канал является разновидностью средств измерений и на него распространяются все общие требования к средствам измерений.

Поэтому при разработке проекта необходимо обосновать погрешность измерения. Для этого разрабатывается обобщенная структура измерительного канала и в условиях ограниченной исходной информации, когда прямое экспериментальное оценивание погрешности практически

невозможно или экономически неоправданно рекомендуется использовать методику оценивания его погрешности расчетным способом.

Погрешность датчика в общем случае показывает, насколько отличается показание датчика от реального значения измеряемого параметра. Точность измерения есть сумма основной приведенной погрешности и дополнительной погрешности.

Основная приведенная погрешность складывается из погрешности измерения, погрешности от нелинейности, от гистерезиса, погрешности калибровки, погрешности временной нестабильности из-за старения чувствительного элемента. Дополнительная погрешность может быть вызвана изменением температуры среды, напряжением питания и сопротивлением нагрузки.

Существует два метода оценки погрешности ε измерительной системы. В первом методе производится оценка пределов погрешности измерительной системы по пределам погрешностей СИ, входящих в систему, т.е. фактически определяется максимальное значение погрешности измерительной системы.

Эта погрешность оценивается как корень квадратный из суммы квадратов пределов допускаемой погрешности каждого СИ, входящего в измерительную систему.

Этот метод достаточно строг, если предельные допускаемые погрешности $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N$ независимы и их значения соответствуют одинаковым доверительным вероятностям при однотипных законах распределения.

Второй, вероятностно-статистический, метод оценки погрешностей является более строгим и корректным, но достаточно сложным.

При расчете погрешности датчика рекомендуется использовать для выбранных каналов измерения перечень составляющих погрешности и их процентный уровень, который приведен в прил. Г РМГ 62-2003 [16].

Пример обобщенной структуры измерительного канала для измерения температур с помощью термопреобразователей сопротивления (по ГОСТ 6651-94) АС приведен на рис. 3.29.

Пример расчета требуемой точности измерительного устройства канала измерения в АС. На рис. 3.29 приведены:

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

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

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

R_k – термопреобразователь сопротивления;

T_x – измеряемая температура;

БП – блок питания;
 R_3 – 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.

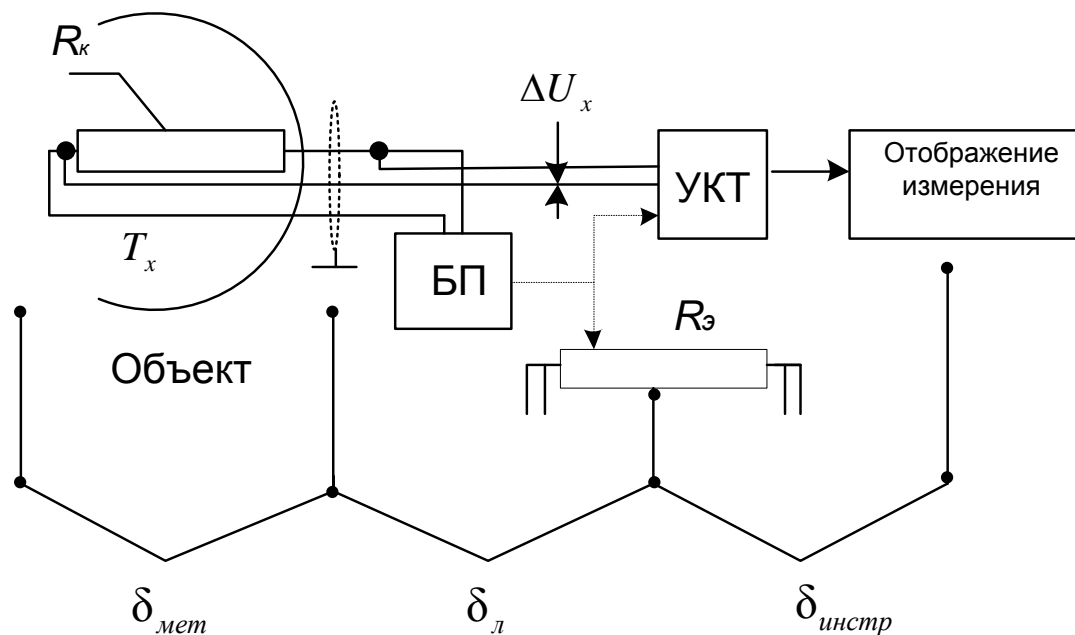


Рис. 3.29. Обобщенная структура измерительного канала

Погрешность измерения канала может быть определена как

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

где $\Delta_{\text{дет}}$ – поправочная (неслучайная) погрешность;

$\delta_{\text{вф}}$ – погрешность влияющих факторов;

* – знак объединения в сумму.

Пусть в качестве канала измерения выбран и согласован с преподавателем канал измерения давления, для которого заданным является требование к погрешности канала измерения (не более 0,3 %) с заданной разрядностью АЦП (10 разрядов). Поправочная погрешность отсутствует.

Расчет допустимой погрешности измерения выбираемого 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, рассчитывается как половина погрешности квантования:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2 \cdot 2^{10}} = 0,005 \text{ \%}.$$

Погрешность передачи по каналу измерений $\delta_2 = 0,05$ задается исходя из их оценки, выполненной в отраслевых документах.

При расчете суммарной погрешности учитываются также дополнительные погрешности, вызванные влиянием:

- температуры окружающего воздуха;
- вибрации.

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

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

Дополнительная погрешность, вызванная вибрацией,

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

Следовательно, допускаемая основная погрешность выбираемого датчика давления должна не превышать

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

Другим способом в основу выбора СИ по точности кладут соотношение между абсолютной погрешностью СИ (Δ) и допуском на значение измеряемой величины (D): $\Delta \leq 0,33 D$. тогда приведенная или относительная погрешность СИ должна быть меньше или равна 1/3 допуска на значение измеряемой величины.

Пример выбора шкалы датчика. Выбрать шкалу манометра (определить верхний предел измерения) для измерения постоянного давления: а) 0,3 МПа; б) 26 МПа.

Шкала манометра (верхний предел измерения) выбирается таким образом, чтобы рабочий предел измерения (наибольшее рабочее давление) был не менее 3/4 верхнего предела при постоянном давлении

и не менее $2/3$ верхнего предела измерения при переменном давлении. Верхние пределы измерения выбираются из ряда

$$(1; 1,6; 2,5; 4; 6) - 10^n,$$

где n – любое целое положительное или отрицательное число. Выбираем верхние пределы измерения:

а) $0,3/(3/4) = 0,4$ МПа, выбираем верхний предел измерения не более 0,4 МПа и шкалу 0–0,4 МПа;

б) $26/(3/4) = 34,7$ МПа, т.е. желательно, чтобы верхний предел был не более 34,7 МПа; однако выбираем шкалу 0...40 МПа, т.к. ближайшая шкала с меньшим пределом (0...25 МПа) не может быть использована.

Пример выбора датчика. 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 патрубке с резьбой (20 мм).

Выбранный датчик обеспечивает непрерывное преобразование значения измеряемого параметра в унифицированный токовый выходной сигнал. Преобразователь обеспечивает его работу с 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 пьезоэффекта в полупроводниковом материале. Деформация измерительного блока линейно преобразуется в изменение электрического сопротивления тензопреобразователя. Электронное устройство преобразует изменение сопротивления в выходной токовый 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.

Рекомендуется проводить калибровку датчика 1 раз в год.

Датчик выполняется в конструкции полевого корпуса. Конструкция полевого корпуса обеспечивает электрическое присоединение к датчику внутри закрытой оболочки с использованием кабельного ввода. Это даёт возможность применять такой прибор вне помещения и защищает датчик и его электрическое присоединение от механических и атмосферных воздействий.

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

Проектирование барьеров искробезопасности. Для сопряжения КИПиА оборудования, размещенного во взрывобезопасной зоне, с устройствами и приборами, установленными во взрывоопасных зонах, в качестве разделительных элементов применяются барьеры искрозащиты.

Стандарт [ГОСТ Р 51330.10] вводит три уровня безопасности электрической цепи: *ia*, *ib*, *ic*. Искробезопасная цепь уровня *ic* не должна вызывать воспламенение, если в ней произошли некоторые или все неучитываемые повреждения. Цепь уровня *ib* не должна воспламенять взрывоопасную смесь, если в ней произошли все неучитываемые повреждения и одно учитываемое. Цепь уровня *ia* не должна воспламенять взрывоопасную смесь, если в ней произошли одновременно все неучитываемые повреждения и одно или два учитываемых. Технически повышение уровня искробезопасности достигается резервированием или применением неповреждаемых (в смысле ГОСТ 51330.10) элементов.

Устройства (контроллеры, модули ввода/вывода, датчики, исполнительные механизмы), применяемые на взрывоопасных объектах, делятся на три больших класса:

- устройства, являющиеся полностью искробезопасными;
- устройства, относящиеся к «связанному оборудованию», которые содержат как искробезопасные, так и искроопасные цепи, причем искроопасные цепи не могут влиять на искробезопасные;
- обычные устройства, применяемые совместно с барьерами искробезопасности.

Связанное оборудование обеспечивает передачу информации между взрывоопасной и безопасной зонами. Например, если преобразователь интерфейсов *RS-232* и *RS-485* содержит искроопасные цепи интерфейса *RS-232* и искробезопасные цепи интерфейса *RS-485*, между которыми существует неповреждаемое (в смысле ГОСТ 51330.10) разделение, то он относится к связанному оборудованию.

В маркировке связанного оборудования присутствуют квадратные скобки, например, [*Exia*] ПС.

В маркировке искробезопасного оборудования их нет, например, *Exia*ПСТб.

Подробнее о маркировке взрывозащищенных изделий и выборе аппаратных средств для взрывоопасных производственных объектов см. ГОСТ Р МЭК 60079.

Поскольку блок искрозащиты относится к связанному оборудованию, он устанавливается вне взрывоопасной зоны (рис. 3.30).

Барьеры искрозащиты (рис. 3.30) выбираются в зависимости от типа контрольного сигнала: для сигналов переменного, постоянного тока и дифференциального типов. Электропитание барьеров безопасности может осуществляться от блоков питания ПС LX350-4620.

На практике находят применение 2 типа барьеров:

- пассивные серии MTL700;
- активные серии MTL4000.

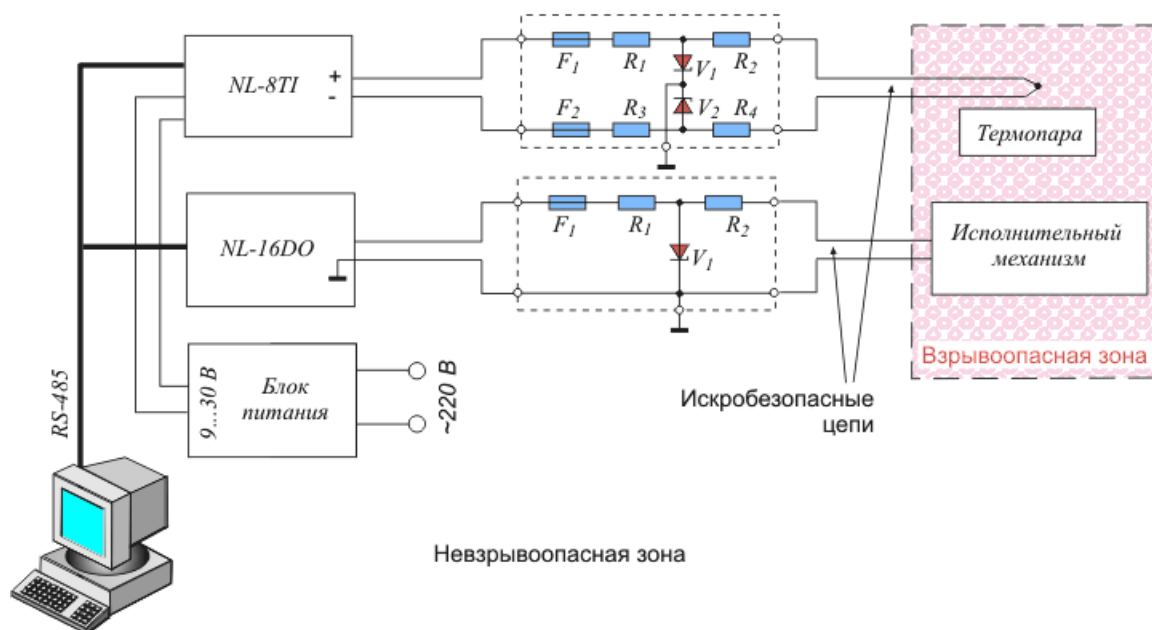


Рис. 3.30. Пример применения устройств без маркировки взрывозащиты совместно с барьером искрозащиты

Достоинства активных барьеров:

1. Нет необходимости в системе заземления.
2. Могут быть применены заземленные первичные измерительные преобразователи.
3. Гальваническая изоляция снимает проблемы обратных токов и обеспечивает высокий коэффициент подавления помехи общего вида.
4. Достигается более высокая точность измерения.
5. Непосредственно могут использоваться выходные сигналы.
6. Внешний вид барьеров искробезопасности показан на рис. 3.31.

Барьеры искробезопасности крепятся на DIN-рейке так, как показано на рис. 3.31.



Рис. 3.31. Внешний вид барьеров искробезопасности

3.4. Выбор исполнительных механизмов

Исполнительным устройством (ИУ) называется устройство в системе управления, непосредственно реализующее управляющее воздействие со стороны регулятора на объект управления путем передачи ему или изменения его энергии. Исполнительные устройства (ИУ) состоят из двух основных функциональных узлов:

1) управляющего устройства (привода), предназначенного для управления исполнительным механизмом в соответствии с командной информацией, полученной от управляющего устройства. Управляющим устройством (УУ) может быть любая динамическая система;

2) регулирующего органа (РО) – клапана, заслонки и т.д., воздействующих на процесс путем изменения пропускной способности трубопровода. Регулирующим органом называют блок исполнительного устройства, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования.

Кроме исполнительного механизма и регулирующего органа, исполнительное устройство содержит ряд вспомогательных блоков, расширяющих область применения исполнительных устройств и обеспечивающих выполнение ряда дополнительных функций. К вспомогательным блокам относятся (рис. 3.32): блок ручного управления для механического (ручного) управления регулирующим органом, блок сигнализации конечных положений для выдачи информации о положении выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, фиксаторы положения для фиксации положения выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, блок дистанционного управления, блок обратной связи для улучшения статических и динамических характеристик исполнительного устройства или всей замкнутой системы регулирования.

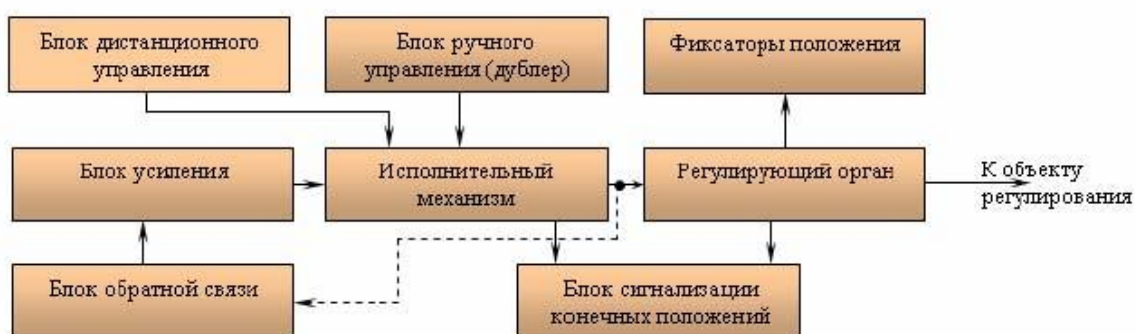


Рис. 3.32. Блок-схема исполнительных устройств

Регулирующее воздействие от исполнительного устройства должно изменять процесс достижения поставленной задачи АС – оптимизации и (или) стабилизации качества регулируемой величины объекта управления. 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 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 управляется своим типом ИУ.

ИУ в НГО можно разделить на следующие основные группы:

1. Насосы и моторы, воздействующие непосредственно через посредство параметров их кинетической энергии на объект управления.

2. Исполнительные устройства, управляющие непосредственным воздействием тепловой энергии на объект управления.

3. Запорно-регулирующие исполнительные устройства, управляющие массо-объемными параметрами потоковых объектов управления.

Насосы и моторы совместно с преобразователем частоты, устройством перестановки регулирующей передачи или иными стабильно регулируемым вспомогательными устройствами обеспечивают различные возможности техники управления технологическими объектами

НГО. Приводы, как с изменяемой, так и неизменяемой скоростью перестройки РО, применяются для регулирования потоков (насосы), для регулирования давления (вентиляторы и экструдеры) и для обслуживания и поддержки технологических процессов (мешалки, центрифуги, увлажнители, очистные агрегаты и т.д.).

Тепловые исполнительные устройства (актуаторы) НГО осуществляют управляющее воздействие на изменение температуры объекта управления. К их числу относят устройства преобразования энергии электричества, энергии сжигания энергоносителя или энергии теплопередачи.

В зависимости от используемой энергии *запорно-регулирующие устройства* можно подразделять на следующие виды:

- пневматические (с пневматическим ИУ), рис. 3.33;
- электрические (с электрическим ИУ), рис. 3.33;
- гидравлические (с гидравлическим ИУ);
- электропневматические (пневматический ИУ с электропневматическим преобразователем);
- электрогидравлические (гидравлический ИУ с электрогидравлическим преобразователем);
- пневмогидравлические (гидравлический ИУ с пневмогидравлическим преобразователем).

Согласно ГОСТ 24856-81 вводятся следующие определения:

Задвижка – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный (или регулирующий) орган перемещается возвратно-поступательно, перпендикулярно оси потока рабочей среды.

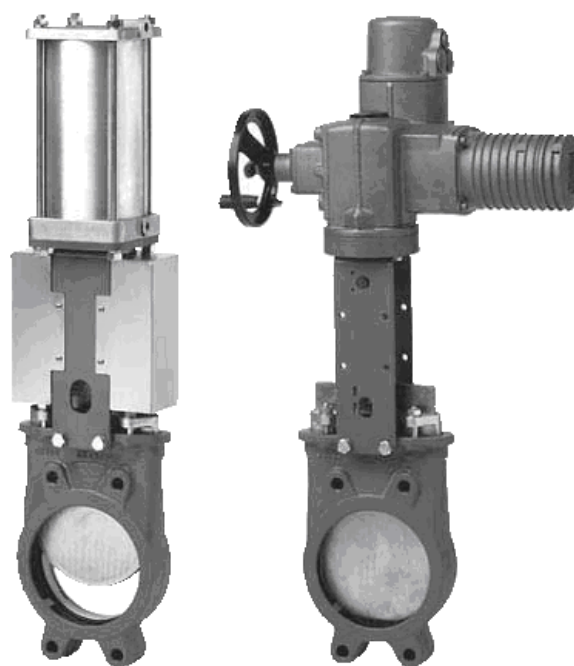
Клапан (нежелательный термин – вентиль) – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный (или регулирующий) орган перемещается возвратно-поступательно, параллельно оси потока рабочей среды.

Кран – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный (или регулирующий) орган имеет форму тела вращения или части его, который поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной к направлению потока рабочей среды.

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.

Клапаны (заслонки) подразделяются на три группы:

- ИУ больших расходов (регулирующие заслонки) с коэффициентом пропускной способности $k_v = 20 \dots 20\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.
- ИУ средних расходов (регулирующие клапаны); $k_v = 4 \dots 1\,600 \text{ м}^3/\text{ч}$.
- ИУ малых расходов (регулирующие клапаны); $k_v = 0,1 \dots 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.



Пневмопривод

Электропривод

Рис. 3.33. Привод клапанов и задвижек

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.

Различают линейно перемещаемые и поворотные ИУ (*control valve*).

В зависимости от конструктивных особенностей *ПО* исполнительные устройства этой группы подразделяют на виды (табл. 3.2):

- односедельные;
- двухседельные;
- клеточные;
- диафрагмовые.

Односедельные ПО (рис. 3.35) применяют для установки на трубопроводах малого диаметра и при небольших перепадах давлений на клапанах. 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. Высокая ремонтпригодность дает значительную экономию при эксплуатации. Основной недостаток, ограничивающий применение тради-

ционных конструкций односедельных исполнительных устройств, – неразгруженность затвора, вызывающая необходимость применения сравнительно мощных УУ.

Двухседельные РО требуют большого внимания при эксплуатации. В среднем каждые 3...4 месяца необходимо заново притирать уплотнительные поверхности затвора и седел, каждые шесть месяцев – обновлять профильные поверхности. Среднее время восстановления изделия, не считая времени демонтажа и монтажа, – пять часов; срок службы – не менее шести лет.

Клеточные РО (рис. 3.35) являются усовершенствованным видом плунжерных односедельных устройств. В них устранены основные недостатки односедельной конструкции (неуравновешенность затвора) и двухседельной конструкции (негерметичность затвора). Цилиндрический полый затвор перемещается в клетке – направляющей, имеющей поперечные сверления. Она одновременно служит и седлом затвора, причем в данной конструкции затворная пара имеет не одну, а две уплотнительные поверхности; это позволяет снизить негерметичность до 0,5 %.

В *бесплунжерном диафрагмовом РО* (рис. 3.35) изменение проходного сечения достигается перемещением центра диафрагмы относительно седла.

Бесплунжерные прямоходные *РО* отличаются гибкой конструкцией затвора, которая определяет и достоинства, и недостатки этой небольшой группы устройств. К их достоинствам относится возможность регулировать потоки сред, соприкосновение которых с металлом по разным причинам нежелательно. Основные недостатки бесплунжерных РО – недолговечность гибкого элемента и невозможность работы при высоких давлениях и температурах.

Трехходовые РО (рис. 3.35). Во многих технологических схемах предусматривается смешение или разделение потоков, такие потоки целесообразно регулировать с помощью специально предназначенных для этого смесительных и разделительных исполнительных устройств. Корпус смесительного регулирующего органа аналогичен проходному корпусу односедельного, но вместо нижней крышки в нем установлен дополнительный патрубок с закрепленным вторым седлом.

Корпус разделительного регулирующего органа аналогичен корпусу двухседельного, но в нем имеется дополнительная перегородка, отделяющая разделенные затвором потоки.

Дисковый затвор – это тип трубопроводной арматуры, в котором запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под уг-

лом к направлению потока рабочей среды (рис. 3.34). Такие устройства называют заслонками, поворотными затворами, герметичными клапанами, гермоклапанами. Наиболее часто такая арматура применяется при больших диаметрах трубопроводов, малых давлениях среды и пониженных требованиях к герметичности рабочего органа, в основном в качестве запорной арматуры.

В дисковых затворах запирающий элемент, т.е. затвор, имеет форму диска, который может перекрывать проход рабочей среде через кольцевое *седло* в корпусе путём поворота (как правило, на 90°) затвора вокруг оси, перпендикулярной направлению потока среды, при этом ось вращения диска может являться его собственной осью (осевые дисковые затворы) или же не совпадать с осью (эксцентриковые дисковые затворы). В связи с некоторой схожестью формы затвора с бабочкой в англоязычных странах дисковые затворы носят название *butterfly valve*.



Рис. 3.34. Дисковый затвор

Таблица 3.2

Классификационный признак	Краткие характеристики классификационного признака
1. По назначению работы	- Запорные (отсечные, предохранительные). - Регулирующие (задвижки). - Запорно-регулирующие клапаны (КЗР).
2. По типу рабочего регулирующего органа	- Седелные (односедельные, двухседельные, трехходовые). - Заслоночные (с диафрагменной заслонкой). - Клеточные. - Шаровые. - Пробковые. - Дисковые поворотные затворы и заслонки. - Пилотные.
3. По виду перемещения регулирующего органа	- Однооборотные (МЭО рычажные), неполноповоротные (0,25 - 0,63 об.) фланцевые (МЭОФ). - Многооборотные регулирующие задвижки с постоянной скоростью (МЭМ). - Прямоходные поступательного действия для прямолинейного перемещения регулирующих органов с постоянной скоростью (МЭП, МЭПК, КЗР, краны).
4. По управлению направлениями потоков	- Прямые. - Угловые.
5. По типу управления потоками	- Двухходовые (запорные). - Трехходовые (распределительные, смесительные). - Четырехходовые (распределительные, смесительные).
6. По типу управляющего сигнала	- Пневматические. - Электрические, электропневматические. - Гидравлические.
7. По типу привода	- Механический. - Электромеханический. - Электропневматический. - Пневматический (мембранный, поршневой, лопастный). - Пневмомеханический. - Пневмогидравлический. - Гидравлический.
8. По исполнению вида исполнительного устройства	- НО - нормально открытые. - НЗ - нормально закрытые. - произвольного положения.
9. По пропускной характеристике Kv (сигнал - положение ИМ)	- Линейные. Обеспечивается пропорциональная зависимость между пропускной способностью клапана и ходом плунжера (затвора). - Равнопроцентные (экспоненциальные, логарифмические). Обеспечивается приращение пропускной способности клапана пропорционально текущему значению пропускной способности клапана, т.е. чем больше ход клапана, тем больше увеличивается Kv на единицу хода.
10. По виду управляющего сигнала	- Аналоговые. - Дискретные 2-х позиционные (статические и динамические). - Дискретные 3-х позиционные (статические и динамические).
11. По оснащению дополнительным оборудованием	- МПУ (HART, интерфейс), команда (управление, конфигурация) - состояние (оборудования). - Позиционер (пропорциональный ИМ). - Пилотный механизм. - Ручной дублер (для ручного управления регулирующим органом). - Указатель положения регулирующего органа индуктивный, реостатный, токовый. - Датчики крайних положений, блоки концевых выключателей.

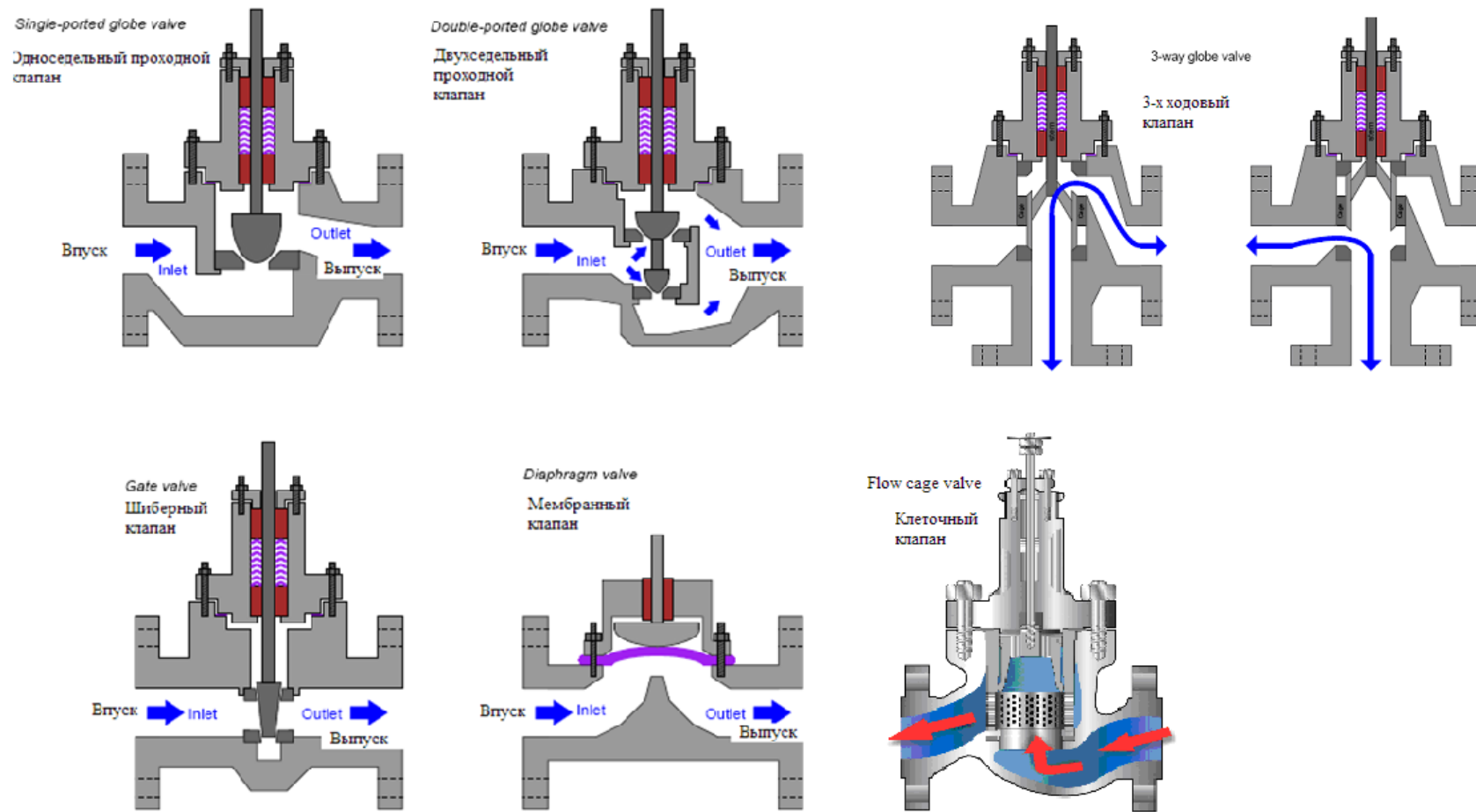


Рис. 3.35. Основные типы клапанов

Условные обозначения исполнительных устройств на схемах показаны на рис. 3.36:

- исполнительное устройство (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется (рис. 3.36, *a*);
 - исполнительное устройство, открывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала (рис. 3.36, *b*);
 - исполнительное устройство, закрывающее регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала (рис. 3.36, *в*);
 - исполнительное устройство, оставляющее регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала (рис. 3.36, *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), рис. 3.36, *д*;
 - автоматическая защита из системы противоаварийной защиты (ПАЗ), рис. 3.36, *e*;
 - технологическое отключение (включение) из системы управления (рис. 3.36, *ж*);
 - регулирующий орган (задвижка, клапан и т.д.), рис. 3.36, *и*;
- Основные типы клапанов:
- регулирующий клапан, открывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально открытый), рис. 3.36, *к*;
 - регулирующий клапан, закрывающийся при прекращении подачи воздуха (нормально закрытый), рис. 3.36, *л*;
 - управляющий электропневматический клапан (рис. 3.36, *м*);
 - отсекающий с приводом (запорный клапан), рис. 3.36, *н*;
 - электрозадвижка (рис. 3.36, *п*);
 - пневмоотсекатель (рис. 3.36, *р*);
 - отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т.п.), рис. 3.36, *с*.

Приводы ИУ делятся на следующие типы (рис. 3.37).

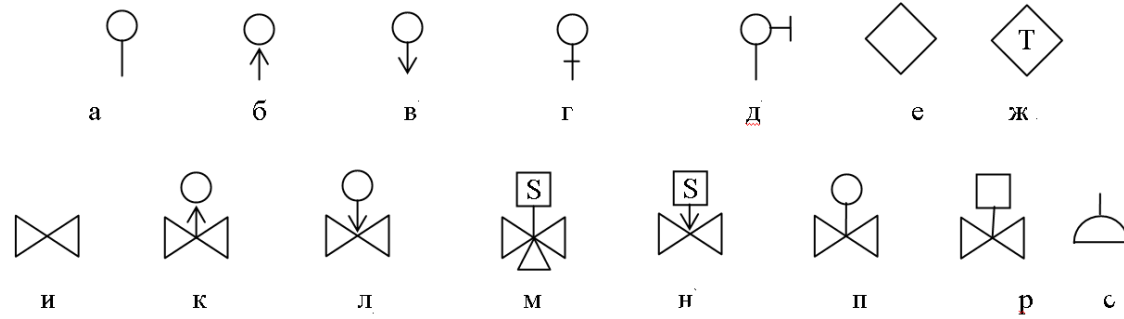


Рис. 3.36. Условные обозначения исполнительных устройств

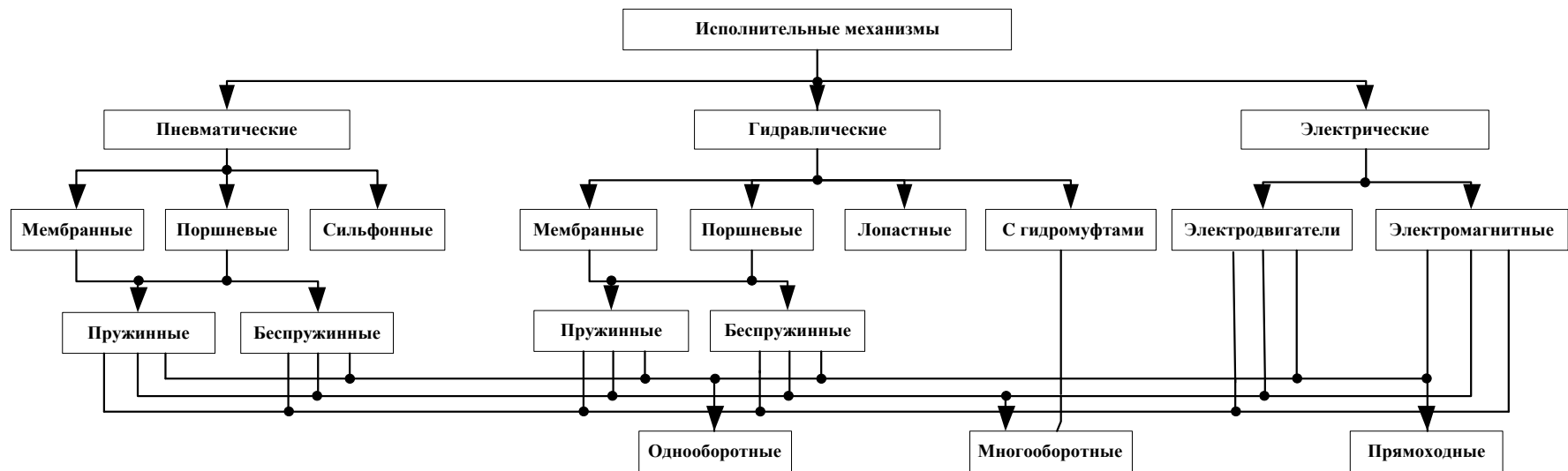


Рис. 3.37. Основные типы исполнительных устройств НГО

Приводы ИУ

Мембранные (механические) УУ реализуют механическое перемещение РО диафрагмой в зависимости от разности давления.

В этих устройствах мембрана воспринимает давление сжатого воздуха и преобразует его в перемещение выходного устройства. Они надежны, просты по конструктивному исполнению, ремонтпригодны, дешевы, развивают усилие до 40 кН и обеспечивают перемещение выходного устройства на расстояния от 4 до 100 мм.

В зависимости от усилия мембранно-пружинные механизмы подразделяются на механизмы, развивающие нормальные перестановочные усилия (МИМ), и механизмы, развивающие повышенные усилия (МИМП).

В зависимости от направления движения выходного органа (штока) МИМ и МИМП подразделяются на механизмы прямого и обратного действия. В механизме прямого действия при увеличении давления шток выталкивается из ПИМ, а в механизме обратного действия втягивается в ПИМ. Механизмы прямого действия применяют для РО нормально открытого типа, механизмы обратного действия – для управления РО нормально закрытого типа.

Поршневые ПИМ используют в тех случаях, когда на перемещение РО затрачиваются значительные перестановочные усилия.

ПИМ комплектуются ручными дублерами для возможности ручного управления затвором РО и позиционерами (усилителями мощности) – для повышения быстродействия и точности установки выходного звена ИУ.

ИУ обозначаются в следующем виде: тип, вид действия, диаметр заделки мембраны, ход штока, наличие дополнительного устройства.

Пример обозначения: МИМ-ППХ-320-25-10, т.е. мембранный исполнительный механизм прямого действия, прямоходный, диаметр заделки мембраны – 320 мм, ход штока – 25 мм, дополнительное устройство отсутствует.

Устройство регулятора давления прямого действия не требует внешних источников энергии, используя для поддержания заданного параметра лишь энергию протекающей воды. Это пропорциональные регуляторы, в которых открытие клапана соответствует отклонению регулируемой величины, а скорость открытия соответствует скорости изменения давления.

Обязательными элементами в конструкции мембранного регулятора давления являются:

- задатчик – пружина, пневматический или рычажно-грузовой механизм;

- импульсная линия – внешняя или встроенная в корпус клапана трубка, обеспечивающая разницу давлений на мембране;
- измерительный элемент – мембрана, сильфон или поршень;
- регулирующий элемент – седельный клапан с линейным перемещением штока.

Требования к регуляторам давления прямого действия изложены в ГОСТ 12678-80. Общие технические условия для регуляторов, работающих без использования постороннего источника энергии, приведены в ГОСТ 11881-76.

Электрическое, электроприводное УУ – это мехатронная система с возможностью управления, служащая для автоматизации трубопроводной арматуры. Электропривод широко применяется во всех отраслях промышленности и играет важную роль во всех технологических процессах. Чаще всего электроприводы используются для дистанционного управления арматурой, её открытия и закрытия, а также для определения положения арматуры (рис. 3.38).

Различают:

- *неполнооборотное* – устройство, которое используется преимущественно для управления трубопроводной арматурой, такой как кран шаровый и затвор дисковый, на $\frac{1}{4}$ оборота;
- *однооборотное* – это устройство для перемещения РО за один оборот;
- *многооборотное* – это устройство, которое используется для управления трубопроводной арматурой, такой как задвижка, клапан (вентиль);
- *прямоходное* – это устройство, которое, как правило, используется для управления регулирующими клапанами.

УУ электрические однооборотные МЭО предназначены для перемещения регулирующих органов трубопроводной арматуры. Они преобразуют входной импульсный электрический сигнал во вращательное перемещение выходного вала, пропорциональное длительности входного импульса.

Приводы однооборотные МЭО (МЭК МЭОК, МЭОБ) позволяют управлять практически любой запорной и запорно-регулирующей арматурой неполноповоротного принципа действия: шаровыми и пробковыми кранами, клапанами, шиберами, поворотными дисковыми затворами, заслонками. Эти приводы связываются с запорной арматурой при помощи тяг и рычагов.

УУ многооборотные электрические типа МЭМ и приводы ПЭМ предназначены для передачи крутящего момента арматуре при ее повороте на один оборот и более. Механизмы МЭМ и приводы ПЭМ предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств.

УУ электромагнитные, или соленоидные (бинарные) приводы, предназначены для перемещения регулирующих или запорных органов, механически связанных с якорем электромагнита. Электромагнитный привод, как следует из его названия, представляет собой магнитопровод с катушкой. Часть магнитопровода выполняется подвижной относительно катушки и неподвижной части магнитопровода. Между подвижной и неподвижной частями магнитопровода обеспечивается воздушный зазор, где, собственно, и происходит преобразование электрической энергии, подаваемой на катушку, в механическую энергию перемещения подвижной части магнитопровода и механически связанного с ним запорного органа. Электромагнитные приводы в силу своего конструктивного исполнения и принципа действия имеют, как правило, только два крайних положения:

- когда на катушку подано напряжение (якорь втянут, воздушный зазор минимален);
- когда с катушки снято напряжение (якорь отброшен возвратными пружинами, воздушный зазор максимален).

Бинарные (переключающие) приводы с точки зрения техники регулирования делятся на двухпозиционные ИУ и интегрирующие (трехпозиционные, приводы постоянной скорости) исполнительные звенья с обратной связью по положению или без нее.

Двухпозиционные УУ – это релейные элементы, которые различают только два входных состояния: «0» и «1» (вкл./выкл, вверх/вниз). Для таких УУ однажды подведенная энергия не остается сохраненной, когда управляющий сигнал снимается.

Даже при использовании ИУ с обеспечением возможности миллиона переключений период их использования может быть очень коротким. При длительности периода 100 мс (например, при реализации ШИМ-управления) этот предел переключений достигается за несколько дней, поэтому применение таких механических исполнительных звеньев при неинтегрирующей характеристике привода исключается.

Трехпозиционные исполнительные УУ с обратной связью по положению – это релейные элементы с двумя бинарными входами, которые различают только два состояния: 1 и 0 (рис. 3.38).

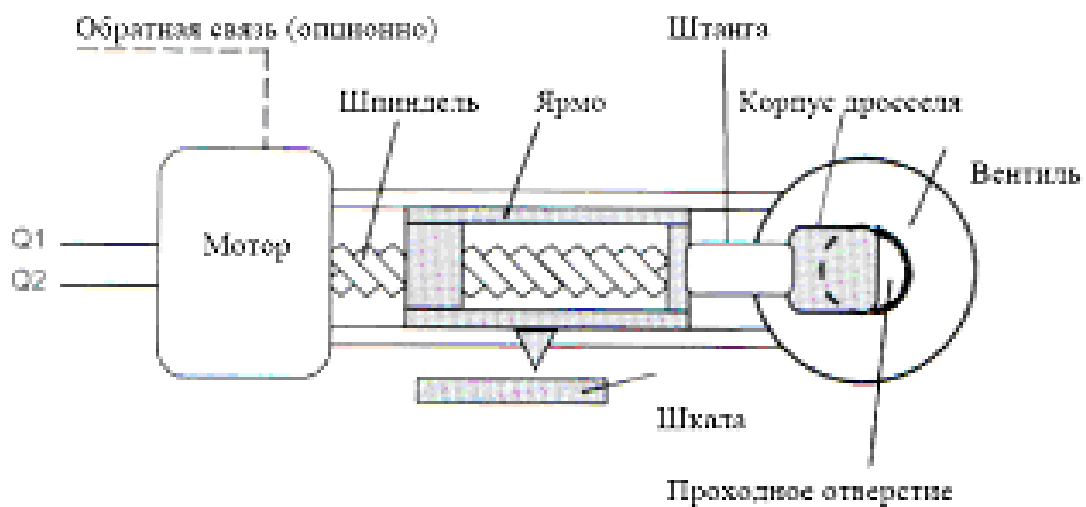


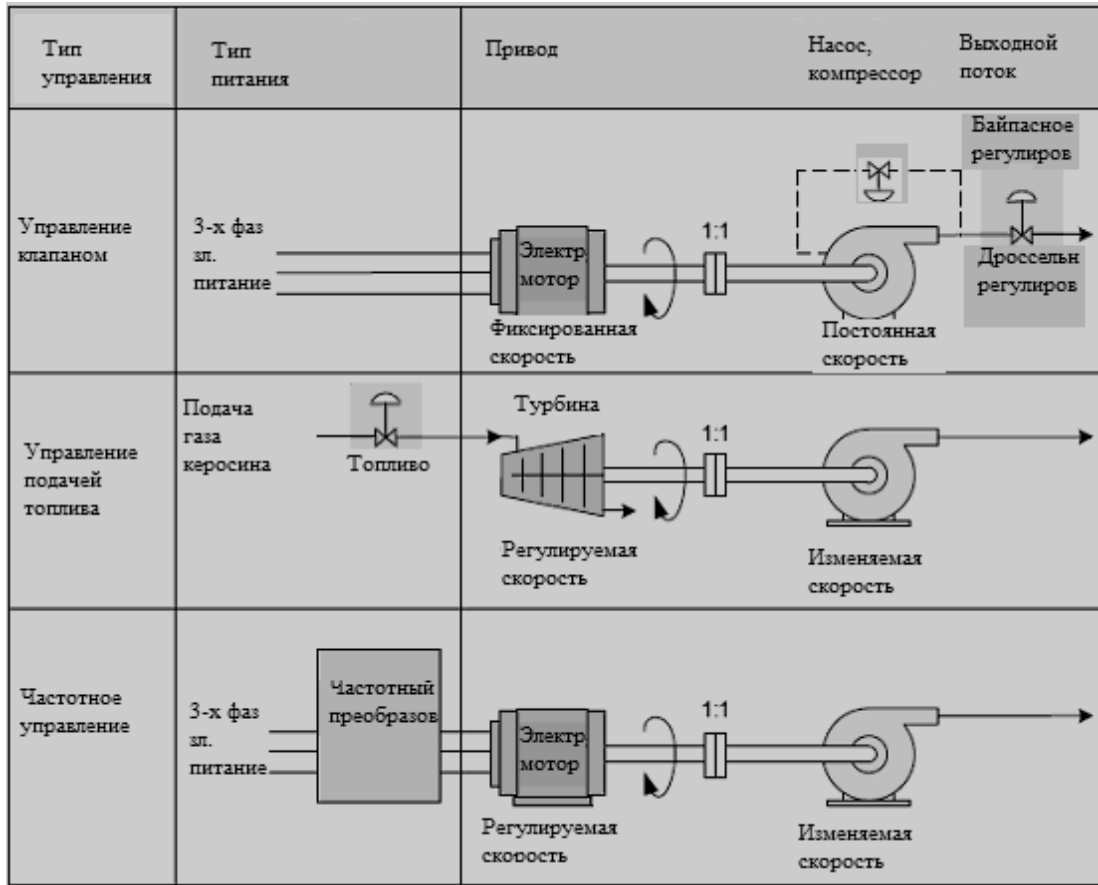
Рис. 3.38. Исполнительное устройство интегрирующего типа

Управление расходом. Во многих случаях точное регулирование расхода совершенно необходимо, например, для управления скоростью опускания и подъема плоской трубы колтюбинговой установки для кислотной промывки скважин. Особенностью процесса регулирования скорости возвратно-поступательного движения трубы является одновременно действующие три переменных параметра: при опускании плоской трубы в скважину уменьшается диаметр барабана и скорость опускания трубы в скважину, соответственно в связи с увеличением веса опущенной части трубы увеличивается усилие натяжения плоской трубы и крутящий момент гидромотора; при подъеме трубы из скважины – эти параметры изменяются в обратном направлении.

Другой задачей регулировки расхода является поддержание установленного значения давления в магистральном трубопроводе.

На практике находят применение четыре *способа регулирования расхода* исполнительным устройством насосного типа (табл. 3.3).

**Схемы управления потоком
с использованием компрессора и насоса**



Выбор схемы регулирования расхода в трубопроводе:

1. *Дросселирование* потока на линии нагнетания (рис. 3.39). Поток дросселируется именно на линии нагнетания, т.к. дросселирование потока на линии всасывания может привести к кавитации (срыву) потока и разрушению насоса.

Пусть при полностью открытом дроссельном органе (заслонке, регуляторе и т.д.) рабочей точкой системы является точка M , производительность системы (нефтепровода) равна Q_0 , гидропотери в ней H_0 .

Если дроссельный PO (рис. 3.39, *a*) прикрыть, то его сопротивление увеличится, так как к потерям напора в трубопроводе, отображённым на рис. 3.39, *б* кривой 2, прибавятся потери напора в дроссельном органе. Общие потери напора в системе возрастут, им будет соответствовать кривая 2'. Рабочая точка системы и НПС переместится в положение M_d , производительность нефтепровода снизится до Q_d . Тогда напор, развиваемый насосом при дросселировании, увеличивается до H_d , потери же

напора в нефтепроводе, напротив, уменьшаются. При производительности Q_d они, в соответствии с $H-Q$ -характеристикой трубопроводной сети 2 (без учёта дроссельного органа), составляют H^1_d . Напор, соответствующий разности $H_d - H^1_d$, развивается насосом не производительно, т.к. он теряется на дроссельном органе.

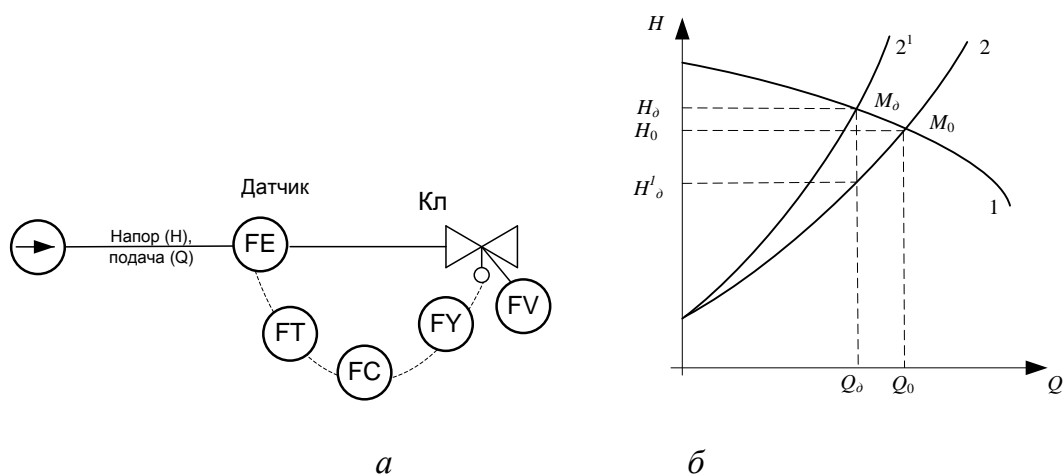


Рис. 3.39. Управление расходом посредством дросселирования: НС – насос (компрессор); Кл – рабочий орган с исполнительным механизмом FV; FE-FT-FC-FY – контур регулирования расхода (F)

Данный способ регулирования расхода является наиболее простым. Известно, что каждая насосная установка 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 насоса. 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.

Таким образом, при дросселировании производительность трубопровода всегда только уменьшается. Данный метод регулирования также неэкономичен, т.к. насос непроизводительно развивает излишний напор, что делает дороже транспорт жидкости в связи с перерасходом энергии.

2. *Байпасирование* осуществляется перепуском перекачиваемой жидкости из напорного трубопровода во всасывающий (так называемый обратный переток), рис. 3.40, по спиральному трубопроводу с задвижкой, манипулирование которой позволяет менять подачу насоса. При этом режим работы и параметры самого насоса не изменяются.

Пусть в начальный момент насос 1 работает без перепуска на трубопроводную сеть 2 (рис. 3.40, б). Рабочая точка системы занимает положение M , производительность нефтепровода равна Q_0 .

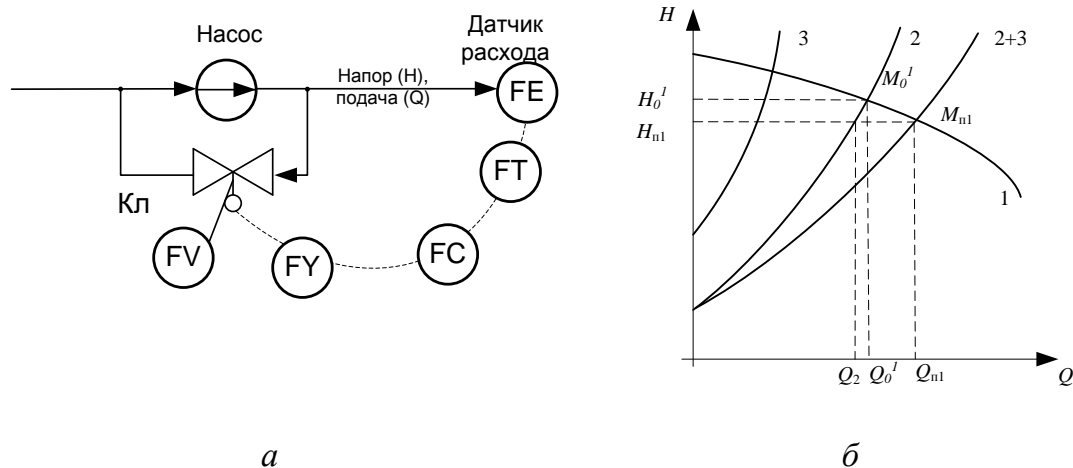


Рис. 3.40. Управление расходом посредством байпасирования

Откроем задвижку на перепускном трубопроводе (байпасе). Жидкость теперь движется не только через насос, но и по перепускному трубопроводу. С гидравлической точки зрения это означает появление в системе дополнительного элемента – байпасного трубопровода. Теперь для нахождения рабочей точки системы необходимо первоначально найти суммарную $H-Q$ -характеристику трубопроводов 2 и 3.

Эти трубопроводы, согласно рис. 3.40, соединены между собой параллельно, поэтому для нахождения их суммарной расходной характеристики 3.40, б следует сложить 2 и 3 путём сложения их абсцисс (Q) при одинаковых ординатах (H). В итоге получается кривая (2+3). Рабочей точкой системы при работе НПС с перепуском будет точка $M_{п1}$.

Как видно, при работе с перепуском производительность насоса возрастает с Q_0 до $Q_{п1}$, а трубопровод 2 расположен на выходе насоса и находится под его напором, равным согласно $M_{п1}$ величине $H_{п1}$. При напоре $H_{п1}$ трубопровод 2 будет пропускать через себя, если следовать его $H-Q$ – характеристике, производительность Q_2 , меньшую первоначальной Q_0^1 , существовавшей при перекачке без перепуска.

Таким образом, при перекачке с перепуском производительность нефтепровода всегда только снижается.

Данный метод регулирования является неэкономичным, т.к. при его осуществлении производительность нефтепровода снижается, хотя производительность насоса возрастает. Это вызывает перерасход энергии на единицу транспортируемой нефти. 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 в случае дроссельного управления приводит к повышению давления в трубопроводе, что может привести к его разрыву.

3. *Изменение числа оборотов вала насоса* достигается путем применения специальных устройств (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 мощность насоса, а это важно для обеспечения необходимого качества регулирования давления в магистральном трубопроводе.

При регулировании режима работы насоса изменением числа оборотов ротора происходит изменение H - Q -характеристик насосов, как это показано на рис. 3.41. С увеличением числа оборотов характеристика смещается вправо и вверх в соответствии с зависимостями

$$H = H_0 \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 ;$$

$$Q = Q_0 \cdot \frac{n}{n_0} .$$

Как видно из рисунка, при данном методе регулирования насос развивает напор и подачу, строго соответствующие сопротивлению и пропускной способности нефтепровода. Поэтому при данном методе не наблюдается излишний расход энергии. Это самый экономичный метод регулирования.

Регулирование может также осуществляться *с помощью гидромуфт*, представляющих собой емкость, соединенную арматурой с отдельно устанавливаемым агрегатом-турбиной, соосным с центробежным насосом. Данный способ не нашел широкого применения, поскольку гидромуфты довольно габаритны, подвержены износу и сложны в эксплуатации и ремонте.

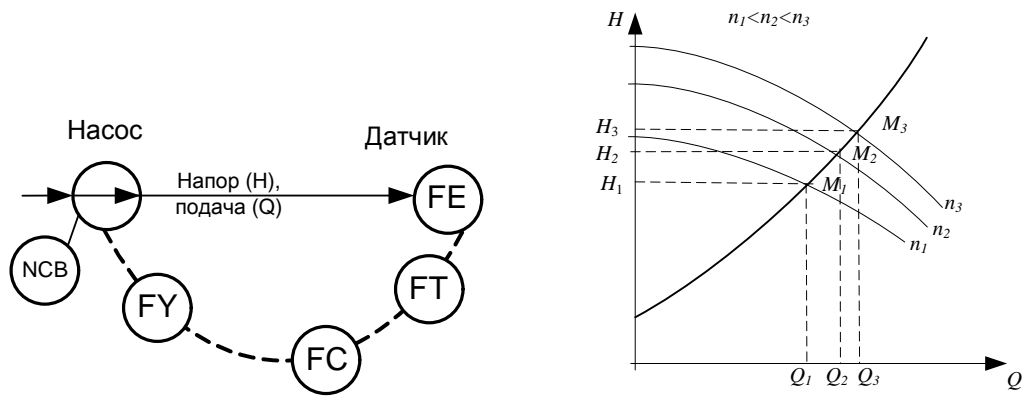


Рис. 3.41. Управление расходом посредством изменения подачи насосом (NCB – управление насосом)

На практике находят применение следующие способы *регулирования уровня*:

1. Изменением расхода жидкости на входе в аппарат – регулирование на притоке (рис. 3.42).

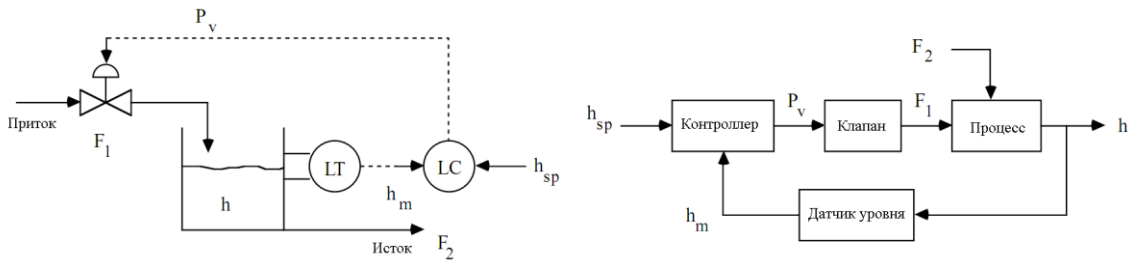


Рис. 3.42. Управление уровнем на притоке

2. Изменением расхода на выходе аппарата – регулирование на истоме (рис. 3.43).

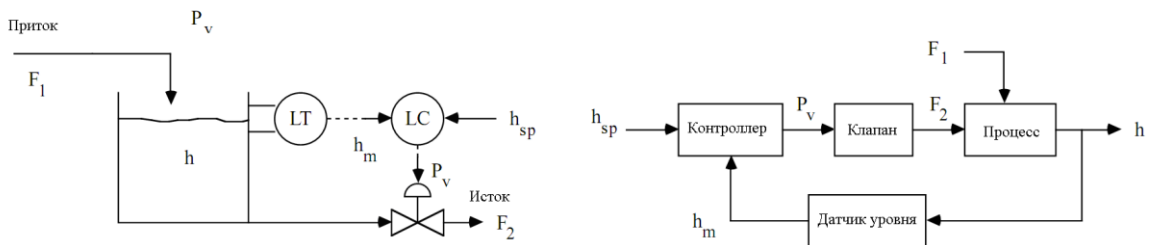


Рис. 3.43. Управление уровнем на истоме

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

3. Комбинированное управление по прямой и обратной связи (рис. 3.44).

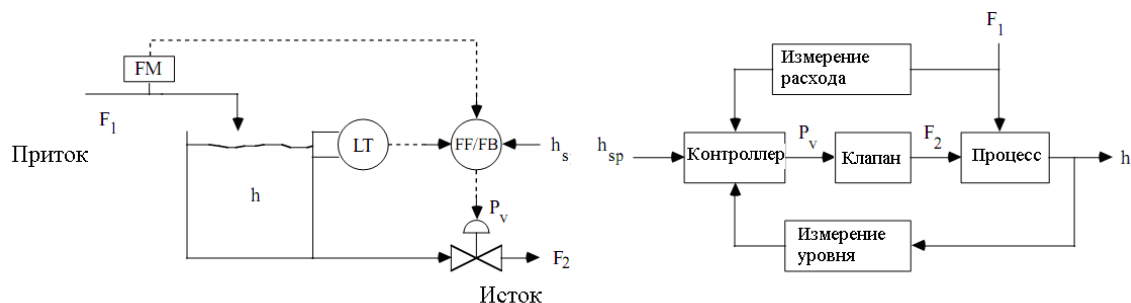


Рис. 3.44. Комбинированное управление уровнем

В данном случае для регулирования уровня используется АС по прямой и обратной связи. Такая АС позволяет повысить качество регулирования уровня по сравнению с одноконтурными.

Способы регулирования давления (рис. 3.45) 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 устанавливается само в соответствии гидравлическим сопротивлением линии аппаратов.

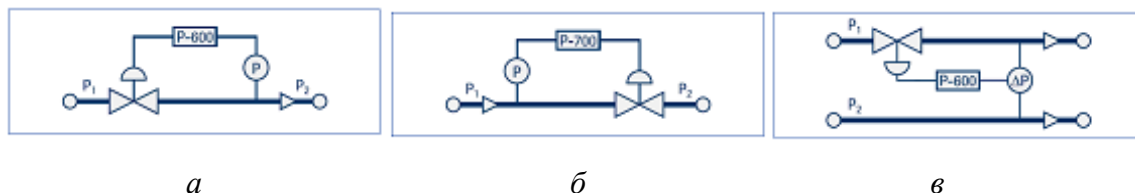


Рис. 3.45. Способы регулирования давления:
 а – регулирование «после себя»; б – регулирование «до себя»;
 в – регулирование «дифференциального давления»

По своему назначению существует несколько типов регуляторов давления прямого действия.

Наиболее часто используется *редукционный* клапан. В технической литературе может встречаться другое его название – регулятор давления после себя. Задачей такого клапана является поддержание постоянного давления в трубопроводе за клапаном. В случае увеличения давления на входе, диск клапана закрывается, сужая или, другими словами, редуцируя (откуда получил название редуционный) проходное сечение в кла-

пане, тем самым избегая повышения давления за клапаном. В случае снижения давления клапан наоборот открывается, поддерживая прежнее значение давления.

Другой клапан получил название *перепускной* или, иначе, регулятор давления до себя. Основным назначением перепускного клапана является поддержание постоянного давления в трубопроводе до клапана. В случае увеличения давления на входе клапан открывается и перепускает (благодаря чему называется перепускным) через себя часть среды, оставляя давление до клапана без изменений. Здесь принцип такой же, как и у стандартного предохранительного клапана, за тем лишь исключением, что предохранительный клапан, как правило, не предназначен для постоянной работы в таком режиме, в то время как перепускной клапан может регулировать расход практически постоянно.

Еще один регулятор служит для поддержания перепада давления, благодаря чему он и получил название *регулятор перепада давления*. Поддержание постоянного перепада давления позволяет получать постоянный расход на определенных участках трубопровода.

Расчет ИУ. Необходимым условием работы системы дросселирования является правильный расчет и выбор РО исполнительного устройства, определяемого величиной его пропускной способности, завышение и занижение которой нежелательно.

Завышение размера РО значительно ухудшает статические и динамические характеристики исполнительного устройства в целом, уменьшает диапазон рабочего хода, снижает точность обработки управляющего воздействия, что влечет за собой ухудшение качества регулирования системы управления в целом.

Кроме того, завышение размера РО является экономически затратным.

Таким образом, решающим значением для оптимального регулирования и достижения желаемой производительности ИУ являются:

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

Кроме того, при использовании ИУ в САР для обеспечения заданных показателей качества регулирования необходимо правильно выбирать привод ИУ.

При выборе РО прежде всего следует оценить его основные характеристики, которые необходимы для определения его передаточной функции:

- теоретическую пропускную способность (K_v) – расход ($\text{м}^3/\text{ч}$) с плотностью, равной $1\ 000\ \text{кг}/\text{м}^3$, пропускаемой регулирующим органом при перепаде давления в нем в $1\ \text{кгс}/\text{см}^2$ и температуре $+20\ \text{°C}$;
- рабочую пропускную способность (K_{vy}) – расход ($\text{м}^3/\text{ч}$) с плотностью конкретной жидкости, пропускаемой регулирующим органом при рабочем перепаде давления в нем;
- пропускную (расходную) характеристику – зависимость расхода через РО от степени его открытия

$$q = f(h),$$

где $q = Q/Q_{\text{max}}$ – относительный расход;

$h = H/H_{\text{max}}$ – относительный ход затвора регулирующего органа.

Порядок выбора пропускной характеристики РО (клапана) приведен на рис. 3.46.

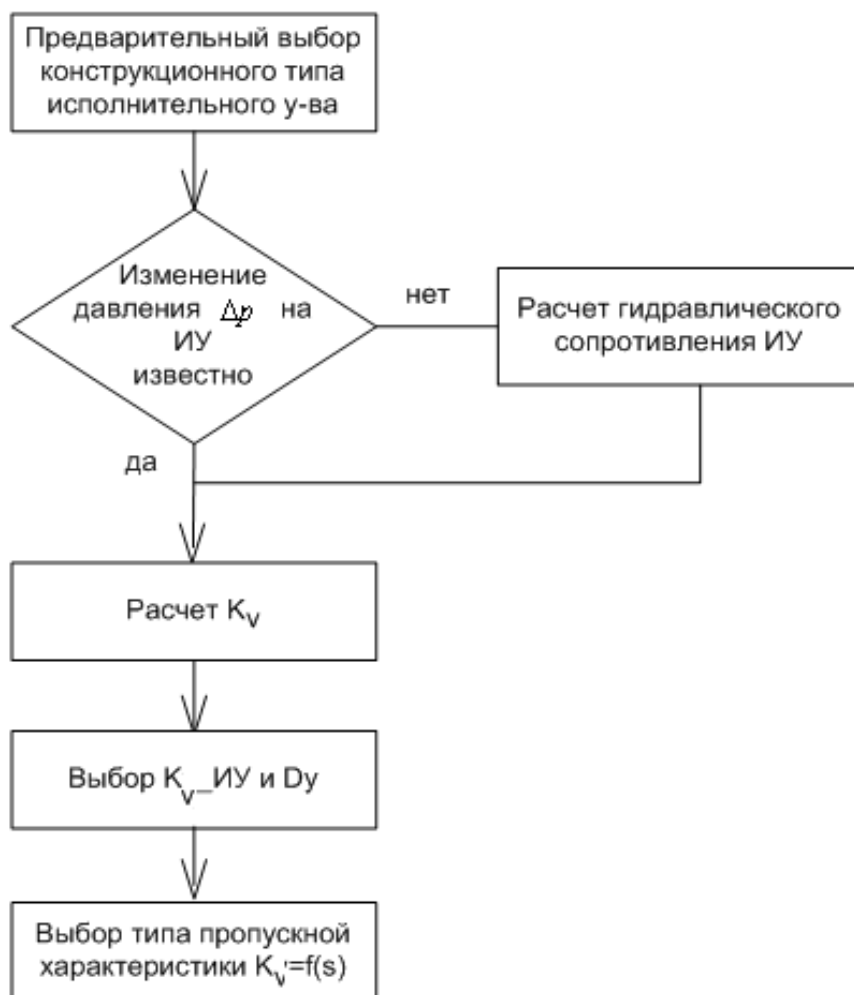


Рис. 3.46. Алгоритм выбора (расчета) ИУ

У клапана различают теоретическую и рабочую статические расходные характеристики. Расходная характеристика – зависимость между коэффициентом пропускной способности и положением плунжера.

Теоретическая расходная характеристика определяется при постоянном перепаде давления на регулирующем органе, а рабочая – при переменном перепаде, т.е. для реальных рабочих условий.

Рабочая характеристика может отличаться от теоретической. Несмотря на то, что последняя линейна, рабочая характеристика может быть существенно нелинейной. Это объясняется тем, что вид расходной характеристики определяется зависимостью между расходом через клапан и перепадом давления на клапане. Пусть процесс расхода регулируется с помощью клапана, так что суммарный перепад давления на клапане, объекте и трубопроводе постоянен. Если при нормальном расходе через клапан перепад давления на нем равен половине полного перепада давления в системе, то увеличение расхода на 20 % приводит к тому, что падение давления в трубопроводе и в объекте увеличивается примерно в 1,4 раза и на долю клапана будет приходиться примерно 30 % полного перепада давления (рис. 3.47).

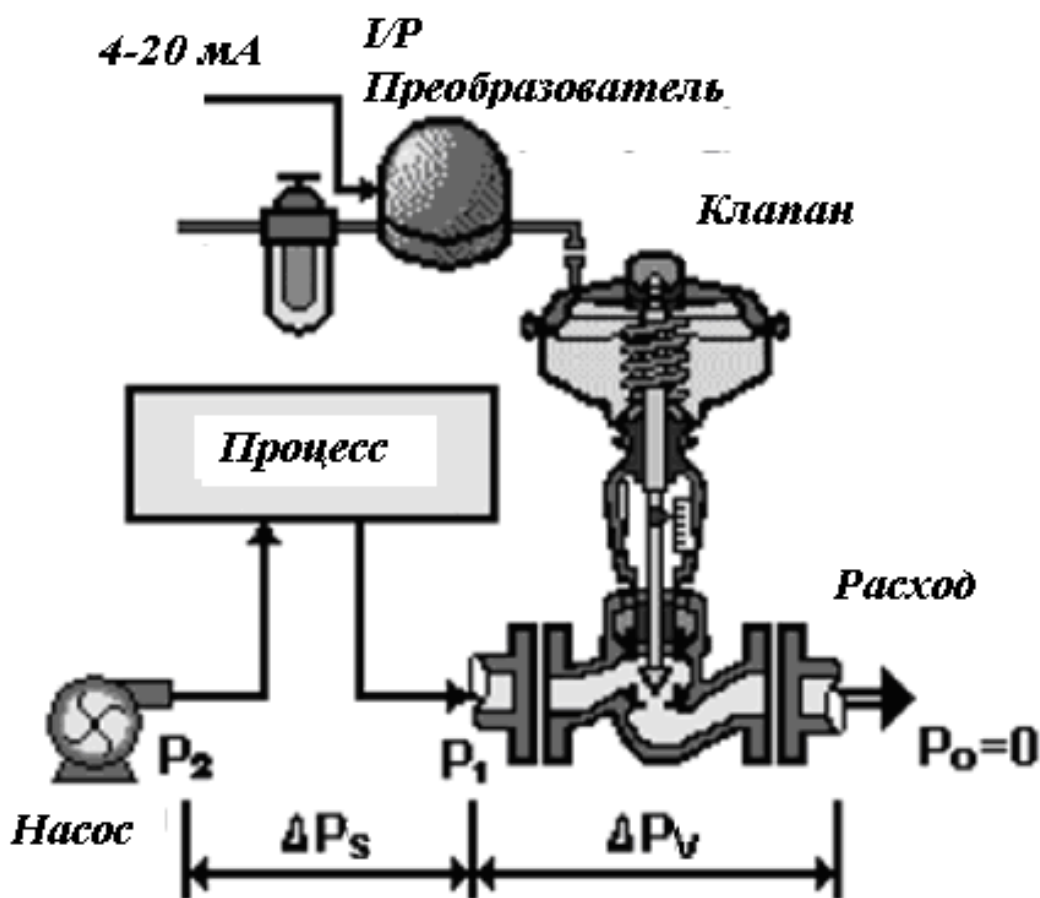


Рис. 3.47. Распределение давления в регулируемой системе

Таким образом, для того чтобы увеличить расход через клапан на 20 %, следует переместить шток клапана на большую величину, чем это следует из теоретической расходной характеристики клапана.

Поэтому для получения линейной рабочей характеристики необходимо либо подбирать специальный профиль регулирующего органа, либо использовать численное преобразование расходной характеристики путем построения в ПЛК корректирующего алгоритма невязки так, чтобы она стала линейной. Регулирующие органы обычно выполняются с линейной, параболической или равнопроцентной теоретическими характеристиками, обеспечиваемыми соответствующим профилем.

Линейная пропускная характеристика (Л) это такая, у которой приращение относительной пропускной способности пропорционально относительному ходу.

Равнопроцентная пропускная характеристика (Р) это такая, у которой приращение относительной пропускной способности по ходу пропорционально текущему значению относительной пропускной способности.

Пропускная характеристика, соответствующая квадратному корню из значения относительного хода обычно характерна для шаровых клапанов.

Клапаны с равнопроцентной рабочей характеристикой в идеальных условиях обеспечивают во всем диапазоне регулирования одинаковое изменение расхода (относительно исходного расхода) при равном перемещении затвора клапана.

Выбор типа расходной характеристики осуществляется в 2 этапа:

1) выбор *типа теоретической расходной характеристики*, обеспечивающей постоянство коэффициента усиления во всем диапазоне хода затвора;

2) определение необходимого *типа рабочей характеристики*, обеспечивающей, при данных параметрах среды, выбранный в п.1 тип расходной характеристики.

Если возмущения в системе при фиксированном положении затвора влекут изменения расхода среды через ИУ, то для сохранения постоянства коэффициента усиления предпочтительна теоретическая равнопроцентная расходная характеристика.

Если изменение расхода среды через ИУ происходит только при перемещении затвора, то предпочтительна теоретическая линейная характеристика.

Различие между теоретической и рабочей характеристиками тем больше, чем больше гидравлическое сопротивление трубопроводной сети. Отношение пропускной способности клапана K_{vy} к пропускной способности сети K_{vt} (гидравлический модуль системы) определяется как

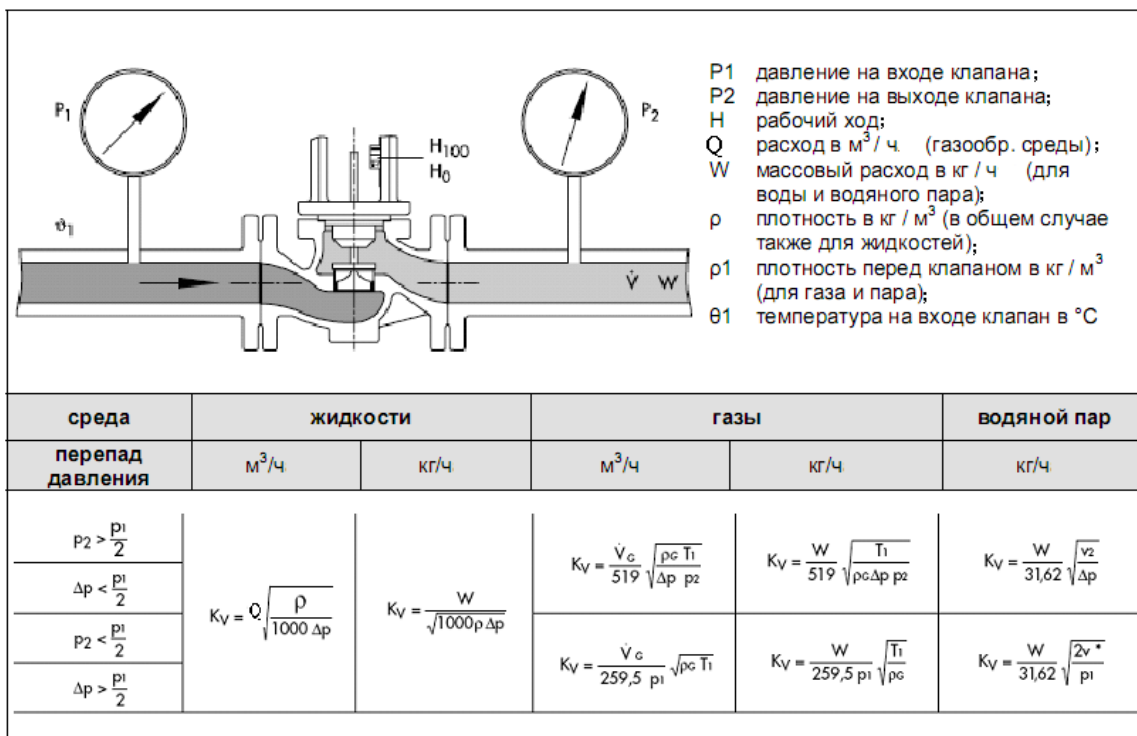
$$n = K_{vy} / K_{vt}.$$

При значениях $n > 1,5$ РО с линейной пропускной характеристикой становятся непригодными из-за непостоянства коэффициента пропорциональности на протяжении всего хода затвора. Однако для регулирующих клапанов с равнопроцентной пропускной характеристикой расходная характеристика близка к линейной при значениях n от 1,5 до 6.

В случае регулирования потока жидкости в трубопроводе рабочая пропускная способность РО может быть определена из рис. 3.48 как

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \Delta p}},$$

где K_v – пропускная способность;
 ρ – плотность жидкости;
 Q_{\max} – максимальное значение расхода.



$P1$ [бар] Рабс;
 $P2$ [бар] Рабс;
 ΔP [бар] Рабс (перепад давл. $P1 - P2$);
 $T1$ [K] $273 + \theta_1$;
 V_G [$\text{м}^3/\text{ч}$] расход газообразной среды, приведенный к температуре 0°C и давлению 1013 мбар.

ρ [$\text{кг}/\text{м}^3$] плотность жидкостей;
 ρ_G [$\text{кг}/\text{м}^3$] плотность газообр. сред при 0°C и 1013 мбар;
 v_1 [$\text{м}^3/\text{кг}$] специфический объем (v' из таблицы свойств водяного пара) при $P1$ и θ_1 ;
 v_2 [$\text{м}^3/\text{кг}$] специфический объем (v' из таблицы свойств водяного пара) при $P2$ и θ_1 ;
 v^* [$\text{м}^3/\text{кг}$] специфический объем (v' из таблицы свойств водяного пара) при $P1/2$ и θ_1

Рис. 3.48. Расчетные формулы для вычисления K_v

В зависимости от предварительно заданных параметров при выборе РО 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).

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

$$dK_v = a * dh,$$

где a – коэффициент пропорциональности;

* – знак пропорциональности.

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

$$dK_v = a * K_v * dh.$$

Графики пропускных характеристик и им соответствующие профили конструктивов приведены на рис. 3.49.

Следует отметить, что идеальный клапан с равнопроцентной пропускной характеристикой не закрывается полностью, и для обеспечения его полного закрытия в реальных клапанах должны быть реализованы специальные конструктивные меры.

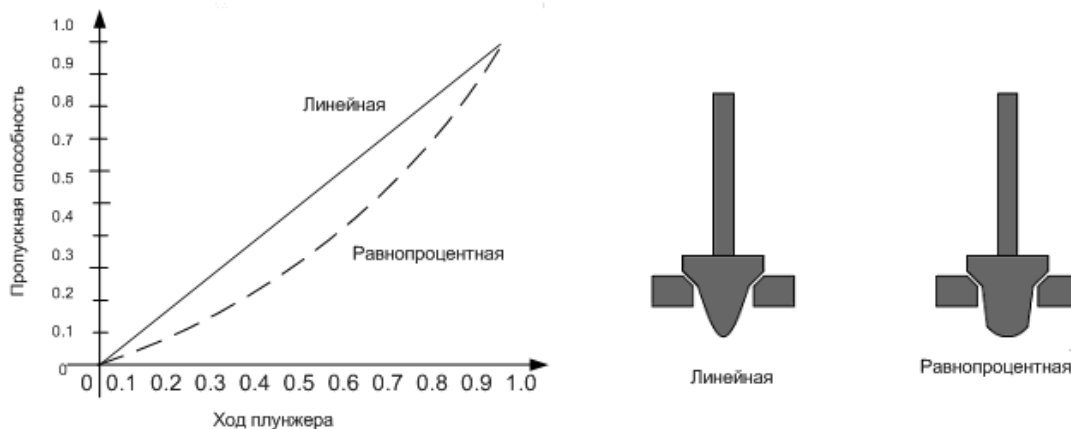


Рис. 3.49. Геометрия клапанов с различной пропускной способностью

Линейная расходная характеристика при своей простоте и очевидности не всегда приемлема для регулирования технологических параметров. Так, например, при регулировании подачи тепла в теплообменники систем отопления, вентиляции и кондиционирования взаимосвязь между выходом тепла и положением открытого конечного регулирующего элемента носит явно выраженный нелинейный характер.

В проекте необходимо обосновать выбор механической части исполнительного органа и используемую энергию привода, описать особенности конструкции ИУ и его алгоритма управления. Выбор механической части клапана осуществляется в соответствии с последовательностью, приведенной на рис. 3.46.

Пример описания раздела выбора исполнительного устройства.

Предварительный выбор конструкционного типа РО. Для управления расходом нефти в трубопроводе ХХ (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 01, пример – прил. 3, принято решение использовать РО (клапан) с электрическим приводом. Заданные условия эксплуатации – Западная Сибирь.

Выбираем дроссельное управление расходом нефти и конструкционный тип клапана – клеточно-плунжерный регулирующие-отсечной типа КМР.

Исходный выбор РО плунжерного типа для регулирования давления осуществляется путем изучения паспортных данных механизма:

- вида движения (поступательное или вращательное);
- величины перемещения или угла поворота МЭО, МЭМ;
- развиваемого усилия, момента;
- скорости перемещения;
- конструктивных параметров и монтажных размеров, возможности компоновки на объекте;
- стоимости.

При выборе механической части клапана рассчитывается условно пропускная способность РО. Расчёт начинается с формулировки исходных данных, в которые включаются:

- название агрегата (установки), для которого выбирается РО;
- вид рабочей характеристики органа;
- чертёж и размеры расчётного участка трубопровода, т.е. участка между точками до и после РО с постоянными, не зависящим от расхода давлением;
- данные о регулируемой среде (вид среды, максимальный расход, давление в начале и конце расчётного участка, плотность жидкости).

Путем расчетов, моделирования или экспериментально определяется потеря давления в трубопроводной сети при максимальной скорости потока.

В качестве расчётного максимального расхода принимают расход, увеличенный на 10...20 % по сравнению с реальным максимальным расходом.

Вычисление условно пропускной способности осуществляют по формулам, характерным для дроссельных устройств, т.е. связывающим перепад статического давления с расходом.

Перепад давления на РО будет равен

$$\Delta P_{po} = \Delta P_{нас} - \Delta P_{тп},$$

где $\Delta P_{нас}$ – перепад давления, формируемый источником напора жидкости в трубопроводе в начале и конце трубопровода;

ΔP_{po} – перепад давления на регулирующем органе;

$\Delta P_{тп}$ – перепад давления в технологической части процесса (вызван потерями давления в трубопроводной сети при максимальной скорости потока).

Вычисление K_{vy} ведется по международному стандарту *DIN EN 60534*:

$$K_{vy} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{1000 \cdot \Delta p_{po}}},$$

где Q_{max} – максимальный расход в трубопроводе [м³/ч].

Расчет пропускной способности в проекте должен быть осуществлен, исходя из следующих исходных данных:

Δp_{po} – потеря давления на РО (клапане) принята равной $20 + 0,1 \times$ (порядковый номер студента), бар;

$\Delta p_{тп}$ – потери давления в трубопроводе $3 + 0,1 \times$ (порядковый номер студента), бар;

ρ – плотность нефти, равная 890 кг/м³;

Q_{max} – максимальное значение расхода, равное 100 м³/ч.

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, жидкость, 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, патрубок и др.)];

- время перемещения штока;
- диапазон перемещения штока;
- 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).

При выборе *РО* следует учитывать ряд возможных отягощений.

Гидравлический удар. Это явление может происходить в гидравлических системах при закрытии клапана.

В качестве примера рассмотрим насосную станцию, питающую резервуар, который расположен выше подающего насоса.

Когда сливной вентиль закрывается, вода выливается вниз из резервуара через насос, а водяной столб ниже насоса стремится продолжить своё движение до тех пор, пока не пропадёт напор от насоса. Это движение вызывает упругую деформацию трубы, которая сжимается в точке, близкой к вентилю. Масса жидкости временно поддерживается в движении. Происходит разряжение, которое распространяется по трубе со скоростью упругих волн C до входного отверстия за время

$$T = L / C,$$

где L – длина трубы между вентиляем и выходным отверстием.

Результат этого эффекта состоит в том, что давление там, где труба входит в резервуар, меньше, чем давление в резервуаре, что вызывает противоток. Волна распространяется от резервуара до насосной станции и достигает заслонки вентиля через интервал $2T$ от начала явления.

Столб жидкости продолжит своё снижение и опять ударит по закрытому вентилю, вызывая вздутие трубы и изменение направления движения жидкости.

Гидравлический удар длился бы бесконечно, если бы потери в нагрузке при разряжении и при избыточном давлении постепенно не гасили бы его.

Для того чтобы избежать этого потенциально разрушительного явления, работой крана должна управлять система, выполняющая постепенное закрытие с тем, чтобы удерживать избыточное давление и разряжение в приемлемых пределах.

Другая процедура предполагает постепенное снижение скорости питающего насоса, позволяющее крану перекрыть трубу.

В случае насоса, работающего с постоянной скоростью, наиболее подходящим является устройство плавного пуска, такое как *Altistart uni Altivar* для насосов с регулированием скорости.

Кавитация. Закрытие клапана приводит к уменьшению сечения, доступного для протекания жидкости. Согласно теореме Бернулли, уменьшение сечения для протекания жидкости в результате прикрытия клапана ведет к ускорению потока и уменьшению статического давления в этой точке.

Величина падения статического давления зависит:

- от внутренней геометрии клапана;
- величины статического давления за клапаном.

Ограничение потока в точке закрытия горловины клапана приводит к падению давления и ускорению потока [эффект *Вентури (Venturi)*].

При закрытии горловины влияние эффекта *Вентури* возрастает. Как только изменение статического давления жидкости вызовет в трубе закипание жидкости, происходит возникновение пузырьков в потоке жидкости, которые приводят к следующим нежелательным эффектам:

- возникает недопустимо громкий звук, похожий на перекачивание гравия в трубах;
- возникает высокочастотная вибрация, приводящая, в частности, к откручиванию крепежных изделий на клапане;
- начинается быстрое разрушение горловины, седла и корпуса клапана из-за выбивания пузырьками частиц металла (в результате поверхности, подвергшиеся кавитации, становятся шероховатыми);
- клапан начинает вести себя так, как будто он постоянно открыт.

Как правило, клапанам часто приходится работать в течение длительного времени в условиях кавитации, и это сильно влияет на срок их эксплуатации.

Пример расчета ИУ

Пусть ρ – плотность нефти (890) [кг/м³].

$$\Delta P_{\text{нас}} = 1,5 \text{ бар.}$$

$$\Delta P_{\text{тп}} = 1,4 \text{ бар.}$$

$$Q_{\text{max}} = 120 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

$$Q_{\text{пр}} = 24 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Так как $\Delta p_{\text{po}} = 0,1$, то максимальная пропускная способность регулирующего органа, согласно исходным данным, будет

$$K_{vy} = 120 \sqrt{\frac{890}{1000 \cdot 0,1}} = 71,6 \left[\frac{\text{м}^{2,5}}{\text{чбар}^{0,5}} \right].$$

Рассчитанную максимальную пропускную способность следует повысить на 20 %, что объясняется следующими причинами:

- регулирующий орган, обеспечивающий нормальный расход в положении полного открытия, не даст необходимого увеличения расхода в переходном режиме (при условии возникновения перерегулирования САР);

- производителями допускается 10%-й разброс значений пропускной способности для регулирующих органов одного типоразмера;

- в условиях эксплуатации технологической установки возможна некоторая вариация значений расхода и перепада давления.

Тогда

$$K_{vy} = 85,92 \left[\frac{M^{2,5}}{\text{чбар}^{0,5}} \right].$$

Определим пропускную способность трубопровода:

$$K_{vt} = 24 \sqrt{\frac{890}{1000 \cdot 1,4}} = 19,1 \left[\frac{M^{2,5}}{\text{чбар}^{0,5}} \right].$$

Найдем гидравлический модуль сети (трубопровода) n , который характеризует распределение давления в системе между линией и регулирующим органом при максимальном расходе среды:

$$n = K_{vy}/K_{vt} = 85,92/19,1 = 4,475.$$

Это величина больше 1,5. Следовательно, для регулировочной характеристики выбирается равнопроцентная расходная характеристика клапана. Для регулирующих клапанов с размерами $D_y = 15 \dots 300$ мм значения K_{vy} обычно образуют следующий ряд ($\text{м}^3/\text{ч}$): 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600 и 2 500.

Выбираем клапан двухходовый фирмы *Siemens VVF40.80-100*, обеспечивающий максимальную пропускную способность $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ (несколько больший, чем 85,92) с *DN*-фланцевым подсоединением к трубе, равным 80 мм.

Выбираем привод *SIEMENS SQX 32.03*. У этого привода реализуется линейное перемещение штока до 20 мм со скоростью 0,57 мм/сек. Асинхронный мотор (с напряжением питания 230 в, потребляющий мощность 6,5 вА и моментом 700 Н) обеспечивает трехпозиционную постоянную скорость реверсивного перемещения штока.

Следовательно, при дискретном изменении сигнала выхода ПЛК в диапазоне 0...24 в скорость устанавливается постоянной в обоих направлениях – от 0 до 0,57 мм/с. Общее перемещение штока осуществ-

ляется от 0 до 20 мм. Время перемещения штока составляет 35 с. При этом расход изменяется в пределах от 0 до 24 м³/ч.

Таким образом, коэффициент передачи привода будет равен $K_{пр} = 0,57/24 = 0,02375$ мм/с.

И, следовательно, коэффициент передачи клапана будет $K_{кл} = 24/20 = 1,2$ м³/ч мм. Этот коэффициент будет иметь линейную статическую характеристику.

ИУ включает в себя электрический мотор и РО. С использованием выбранного РО будем иметь цепь преобразования 0...24 в сигнал ПИД-регулятора (АО ПЛК), напряжение питания мотора, скорость мотора, угол поворота мотора, линейное перемещение РО, процентное значение расхода. Расчет коэффициента передачи РО ($K_{ро}$) можно определить, как отношение приращения расхода к приращению угла поворота мотора.

IP-защищенность выбранного варианта соответствует 54, что достаточно для полевого оборудования НГО.

3.5. Управление регулирующим органом РО

На основе входных сигналов программный модуль управления ИУ выполняет следующие функции:

- установку режимов управления;
- контроль состояния;
- проверку условий выполнения команд управления;
- формирование команд управления;
- проверку выполнения команд управления.

Управление задвижкой может осуществляться в следующих режимах:

- ручной;
- дистанционный:
 - о кнопочный;
 - о автоматический;
 - о ремонтный.

В режиме «Ручной» возможно управление кнопками «Открыть», «Закрыть» и «Стоп» по месту.

В режиме «Кнопочный» управление происходит по командам оператора, а в режиме «Автоматический» – по командам контроллера.

Для пожарных задвижек предусмотрено их открытие кнопками с передней панели управления пожаротушением.

Алгоритм управления задвижкой включает в себя:

- алгоритм контроля состояния;
- алгоритм формирования и контроля выполнения команд управления.

Алгоритм управления анализирует входные дискретные сигналы контроллера и на основании этой информации формирует флаги состояния задвижки (затвора):

- открыта;
- закрыта;
- промежуточное положение;
- неопределенное состояние;
- нет напряжения;
- открывается;
- закрывается;
- авария.

Пример алгоритма управления насосом показан на рис. 3.50.

Несмотря на то, что в качестве привода можно использовать гидравлическое питание, в НГО находят применение в основном *пневматические, электропневматические и электрические приводы*. Пневматические приводы отличаются надежностью, очень высокой динамикой, они могут давать очень большое усилие. При отключении питающей энергии (воздушного давления) они самостоятельно занимают определенное положение.

На практике часто перед пневматическим приводом включают так называемый *I/P-преобразователь* (например, на 0,4...2 бар), который из стандартного аналогового сигнала вырабатывает управляющее воздушное давление для пневматического привода. Если этот *I/P-преобразователь* встроен в ИУ, то говорят об электропневматическом приводе.

Электрические приводы имеют то преимущество, что им не нужна никакая другая питающая энергия (например, воздушное давление компрессора). Они в большинстве случаев преобразуют энергию моторного привода через трансмиссию непосредственно в положение. Электрические приводы, как правило, медленнее пневматических и требуют специальную выходную функцию регулятора, например, ШИМ.

Аналоговые (цифровые) приводы ИУ с точки зрения техники регулирования делятся на приводы переменной скорости, приводы прямоходового типа и приводы постоянной скорости.

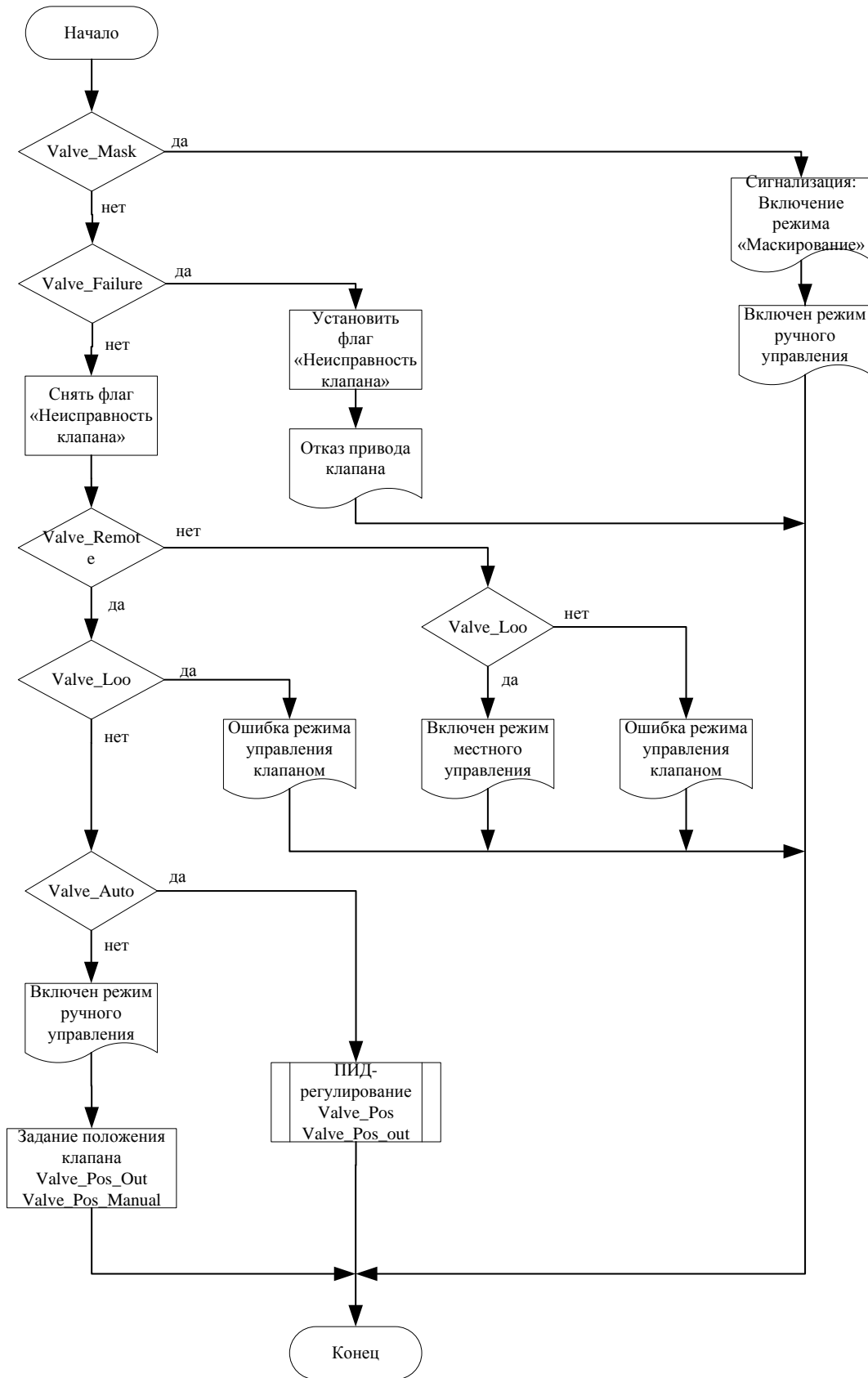


Рис. 3.50. Блок-схема алгоритма управления клапаном

Пропорциональные УУ (приводы переменной скорости) являются звеньями с аналоговым управлением от стандартных сигналов техники регулирования 0...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА. При этом для ИУ не играет никакой роли, является ли управляющий сигнал электрическим или он преобразован в энергию привода с помощью аналогового электропневматического регулятора положения (*I/P*-преобразователя).

Приводы переменной скорости перемещают исполнительные устройства со скоростью, зависящей от сигнала устройства управления. Эти приборы в регуляторе преобразуют электрическую, пневматическую или гидравлическую энергию в механически сохраняемую величину. Также и для них соблюдение минимальной длительности импульса является моментом, который играет определенную роль при запуске в действие и при проектировании.

Приводы постоянной скорости перемещают ИУ с постоянной скоростью. Такие приводы реализуются позиционерами и асинхронными приводами переменного тока.

Бинарные приводы ИУ. Примером применения бинарного привода являются шаровые и седельные клапаны, укомплектованные однооборотными электроприводами. Импульсное управление осуществляется подачей коротких дискретных команд (импульсов), приводящих к включению однооборотного электропривода в ту или иную сторону на короткое время. При этом в седельном клапане двигатель поднимает или опускает шток клапана на несколько миллиметров, а в шаровом – поворачивает шар на несколько градусов, что приводит к увеличению или уменьшению через него протока регулирующей среды.

При выборе типа управления (ШИМ или аналоговый) регулирующим клапаном или заслонкой необходимо учитывать следующее: приводы с импульсным управлением имеют, по сравнению с аналоговыми, несколько меньшую стоимость. Однако при управлении таким приводом регулирующей контроллер не «знает», в каком положении в данный момент находится клапан или заслонка, что не позволяет его применять в тех случаях, когда по алгоритму работы требуется ограничивать ход клапана или заслонки, т.е. не закрывать или не открывать их полностью. Такой привод для этих случаев можно применить, но только получая сигнал обратной связи по положению (приводы с маркировкой «05»). Это в свою очередь, приводит к удорожанию, т.к. добавляется стоимость контура обратной связи по положению. В итоге стоимость применения привода с импульсным управлением и функцией обратной связи будет приблизительно равна стоимости аналогового привода.

Основные функции ИУ:

- автоматическое, дистанционное или ручное открытие и закрытие трубопроводной арматуры;
- автоматический и дистанционный останов рабочего органа арматуры в любом промежуточном положении;
- позиционирование рабочего органа трубопроводной арматуры в любом промежуточном положении;
- формирование информационного сигнала о конечных и промежуточных положениях рабочего органа арматуры и динамике его перемещения.

Привод РО постоянной скорости. При управлении положением РО часто используют привод постоянной скорости. Наиболее применяемым в НГО электрическим приводом перемещения РО является асинхронный мотор. Трудности управления скоростью асинхронным электродвигателем заключаются в том, что в двигателях переменного тока с короткозамкнутым ротором имеется всего лишь одна статорная обмотка, через которую формируется возбуждающее магнитное поле, которое и определяет постоянную скорость вращения.

При выборе привода следует обращать внимание на такую важную характеристику, как время хода штока для приводов клапанов или время поворота для шаровых клапанов и заслонок. Для учета этой характеристики в каталогах приводится или время полного хода (поворота), т.е. время, за которое привод переводит клапан из одного конечного состояния в другое, или время хода. Время полного поворота приводов шаровых клапанов и заслонок, обычно, составляет около 20...480 с, а для «быстрых» приводов – 1,5...30 с. Так для приводов *Neptronic* седельных клапанов время полного хода составляет 60...420 с.

Выбираемое время должно соответствовать скорости протекания технологического процесса. Для процессов, где регулируемые параметры значительно изменяются за короткий промежуток времени (например, процесс изменения потребления горячей воды в системе горячего водоснабжения), необходимо выбирать приводы, которые способны быстро восстановить заданное значение параметра. В этом случае предпочтительнее шаровые клапаны в комплекте с «быстрыми» приводами, имеющими в маркировке символ «F/FF», и малым временем полного хода. Для «медленных» процессов выбираются шаровые клапаны, регулирующие заслонки, или седельные клапаны с приводами, имеющими наибольшее время полного хода, т.н. «медленные приводы», имеющие в маркировке символ «S».

Электрические исполнительные механизмы постоянной скорости на основе асинхронного привода, в частности типа МЭОК, обеспечивают

перемещение рабочих органов запорной и запорно-регулирующей трубопроводной арматуры поворотного принципа действия (шаровые и пробковые краны, поворотные дисковые затворы и пр.). Они используются в системах автоматического регулирования технологическими процессами различных отраслей промышленности в соответствии с командными сигналами, поступающими от регулирующих или управляющих устройств.

Исполнительный механизм электродвигательный типа МЭОК состоит из трехфазного асинхронного двигателя мощностью 270 Вт и скоростью вращения 1 500 об/мин, колонки дистанционного управления, содержащей концевые выключатели для ограничения хода и датчик положения выходного вала, и понижающего редуктора с ручным дублером. Крутящий момент на валу ИМ – 250 Н·м, время полного оборота выходного вала – 100 с, угол поворота выходного вала за полный ход – 90°.

Электрическое питание МЭОК осуществляется трехфазным напряжением 380 В частотой 50 Гц. Выбег выходного вала механизмов составляет до 1 % полного хода, а люфт – до 1° угла поворота выходного вала. Механизмы обеспечивают фиксацию положения выходного вала при отсутствии напряжения питания.

Другим вариантом реализации привода постоянной скорости является позиционер.

Позиционер представляет собой последовательно соединенные трехпозиционное реле включения подачи воздуха и интегратор пневматического типа (шток в пневмоцилиндре). Пример регулирования давления на основе позиционера показан на рис. 3.51. Здесь на вход реле приходит сигнал рассогласования между выходом алгоритма регулирования (на этом рисунке – ПИД) и выходом интегратора. С выхода реле пневмодавление подается шток исполнительного механизма (интегратор), который перемещает плунжер клапана или задвижки.

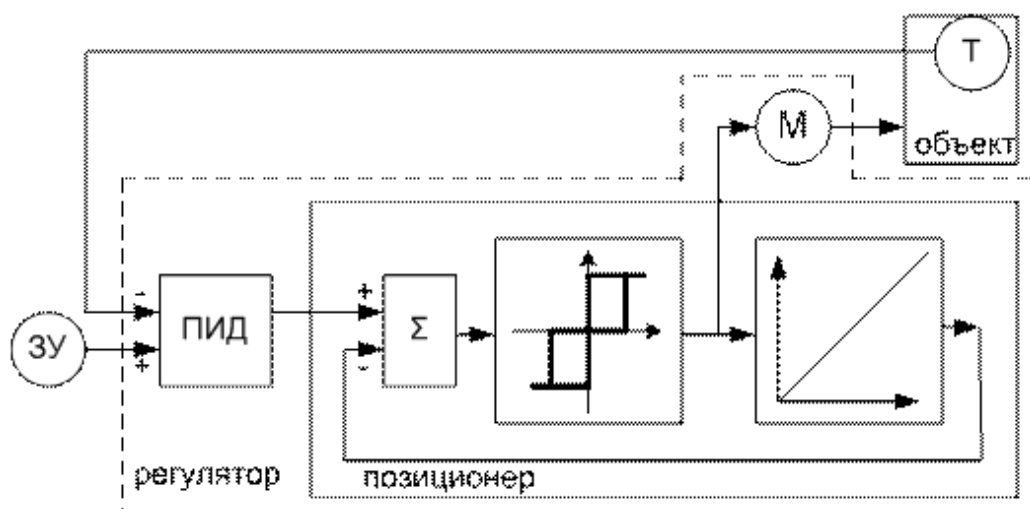


Рис. 3.51. Система регулирования с позиционером

Используют различные варианты управления приводом постоянной скорости:

- посредством ШИМ – управления ИМ как ПИ – регулятором управления РО;
- за счет линейризации статической характеристики ШИМ, управляемого ИМ, посредством обратной связи по положению с последующим ПДД²-алгоритмом, реализующим «пропорциональный, дифференциальный, дважды дифференциальный» закон управления положением РО;
- при использовании привода постоянной скорости и импульсного алгоритма регулирования ИУ за счет использования контура обратной связи по положению регулирующего органа (рис. 3.53) с достаточной для практического применения точностью можно реализовать его пропорциональное перемещение (П-регулирование). Импульсный ПДД²-регулятор при этом будет задатчиком напряжения этого контура регулирования (рис. 3.52).

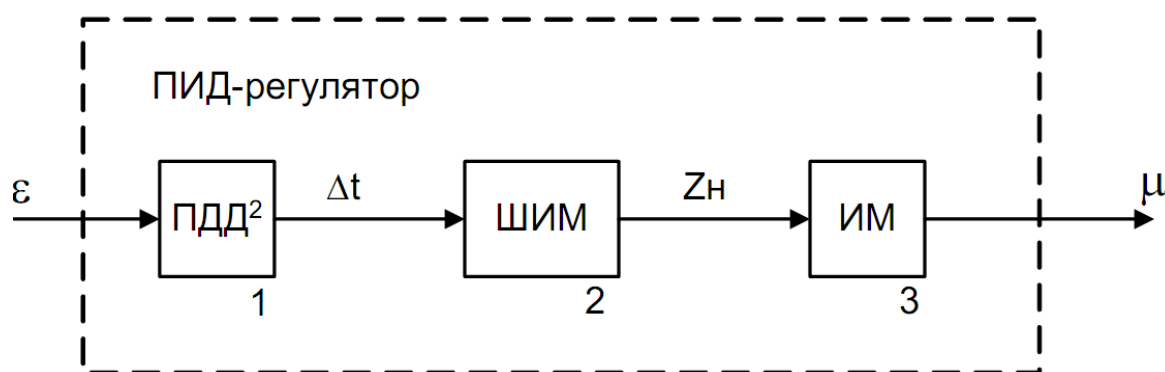


Рис. 3.52. Регулирование ИМ постоянной скорости

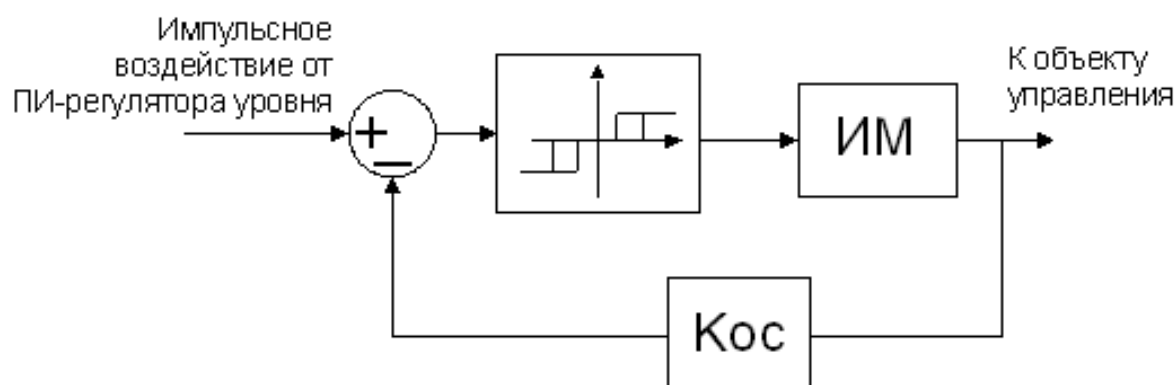


Рис. 3.53. Линейризация нелинейности ИМ за счет ОС

Другим вариантом управления скоростью асинхронного мотора является *управление амплитудой и фазой статорного тока*. В результате реализуется привод переменной скорости на основе моторов переменного тока.

Привод переменной скорости. Различают два основных типа такого управления: скалярный и векторный.

Электрические моторы со скалярным алгоритмом управления являются наиболее распространенными. Они применяются в составе приводов компрессоров, насосов, вентиляторов, для которых важно управлять скоростью вращения выходных валов и тем самым обеспечивать необходимый уровень технологического параметра, например, давления в трубопроводе.

Основной принцип *скалярного управления* состоит в изменении частоты и амплитуды питающего напряжения по закону $U/f^n = \text{const}$ при $n \geq 1$. Конкретный вид зависимости определяется требованиями, предъявляемыми к приводу нагрузкой. Обычно за независимое управление скоростью принимается частота, а значение напряжения для установленной частоты определяет вид механической характеристики и значение пускового момента. Скалярное управление обеспечивает постоянство перегрузочной способности привода независимо от частоты напряжения. Однако при низких значениях частоты питания ($f < 0,1 f_{\text{ном}}$) наблюдается снижение развиваемого приводом момента. Поэтому достаточный для практических применений диапазон регулирования достигает 1:40. Еще одним недостатком скалярного управления является отсутствие возможности одновременного регулирования момента и скорости. Однако скалярные алгоритмы позволяют управлять одновременно несколькими параллельно подключаемыми насосами, и это делает их применение выгодным решением в насосных станциях подпитывающего типа.

Исходной информацией для построения *системы векторного управления* является информация о мгновенных значениях тока статора, угловой скорости и углового положения ротора, о пространственном положении вектора магнитного потока в воздушном зазоре машины. Реализация этого метода требует большого количества вычислений, т.к. необходимо преобразовать трехфазную систему токов в двухфазную в неподвижной системе координат, после чего её нужно привести к системе координат, вращающейся со скоростью ротора или потока ротора.

При векторном управлении для управления фазой тока, а значит и фазой магнитного поля статора относительно вращающегося ротора необходимо знать точное положение ротора в любой момент времени. Эта задача может быть решена с использованием датчика положения, например, шифратора приращений. В такой конфигурации привод пе-

ременного тока по качеству регулирования становится сопоставим с приводом постоянного тока. Однако т.к. в составе большинства стандартных электродвигателей переменного тока (синхронного и асинхронного типов) встроенные датчики положения отсутствуют, то их введение неизбежно усложняет конструкцию двигателя и существенно повышает его стоимость.

Применение современной технологии векторного управления позволяет обойти это ограничение путем использования математической адаптивной модели двигателя для предсказания положения ротора. В этом случае блок управления приводом обеспечивает измерение значений выходных токов и напряжений и на их основе рассчитывает необходимые параметры модели двигателя (сопротивление статора, значение индуктивности рассеяния и т.д.). Заданная величина потока (соответственно момента в модели) сравнивается не с истинной величиной, а с преобразованной. Затем для управления силовым преобразователем частоты выполняются обратные преобразования. С использованием системы уравнений, сходных с уравнениями двигателя постоянного тока, удается построить алгоритмы управления на основе недорогих микропроцессорных устройств (рис. 3.54).

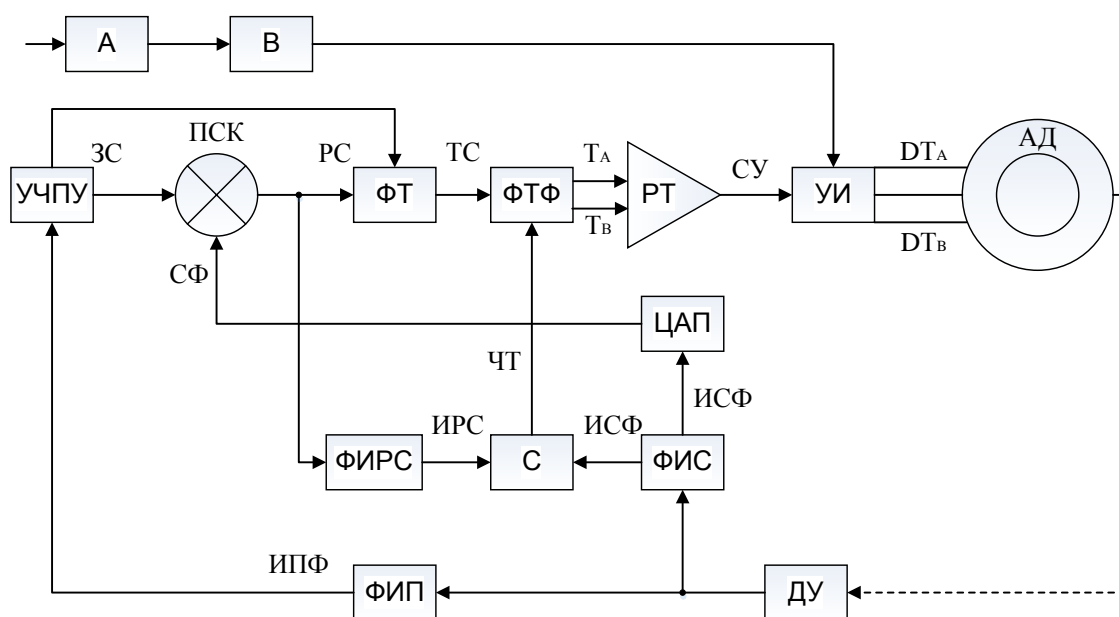


Рис. 3.54. Структурная схема частотно-регулируемого привода (векторный алгоритм)

Силовая часть частотного преобразователя состоит из автоматического выключателя *A*, нерегулируемого выпрямителя *B*, транзисторного управляемого инвертора *УИ*. Система управления включает устройство

частотного преобразователя (УЧПУ), формирователь тока статора ФТ, формирователь фазных токов ФТФ, трехфазный регулятор тока РТ с широтно-импульсным модулятором, датчики тока ДТА и ДТВ, датчик угла поворота ДУ, формирователь импульсного кода скорости перемещения ФИС, формирователь импульсного кода перемещения ФИП, формирователь импульсного кода разности скоростей ФИРС, сумматор С и цифро-аналоговый преобразователь ЦАП.

Датчик ДУ выдает информацию об угловом положении ротора. Этот сигнал преобразуется формирователем ФИП в импульсный код фактического углового перемещения ИПФ, а в формирователе ФИС – в импульсный код фактической скорости двигателя ИСФ. Сигнал ИСФ поступает на вход сумматора С и одновременно на вход ЦАП, который формирует значение фактической скорости в аналоговом виде СФ.

Сигнал задания скорости ЗС, поступающий из УЧПУ, в аналоговом виде сравнивается с фактической скоростью двигателя СФ. Сигнал разности скоростей РС поступает на ФТ. Сюда же поступает информация ПСК о токах статора и потоке двигателя в преобразованной двухфазной вращающейся системе координат, рассчитанная в УЧПУ на основе сигналов от датчика угла поворота ДУ и датчиков тока ДТА и ДТВ. В соответствии с сигналом РС и данными ПСК формирователь ФТ формирует амплитуду и фазу тока статора ТС таким образом, чтобы составляющая тока статора, определяющая поток, оставалась постоянной, а требуемое регулирование момента осуществлялось только изменением второй (ортогональной) составляющей тока статора, создающей момент двигателя.

Сигнал РС, преобразованный в импульсный код ИРС, поступает на сумматор С; в результате суммирования частот сигналов ИРС и ИСФ формируется сигнал требуемой частоты фазных токов ЧТ, который поступает в ФТФ. По заданным амплитуде, фазе и частоте тока статора в двухфазной системе координат ФТФ формирует заданные токи фаз *A* и *B* (ТА и ТВ) в трехфазной системе координат, сдвинутые во времени на $2/3$ периода. Ток третьей фазы С есть сумма токов фаз *A* и *B* с обратным знаком.

Регулятор тока РТ на основе сравнения заданных значений токов ТА и ТВ с фактическими значениями, полученными от ДТА и ДТВ, вырабатывает сигнал управления СУ для непосредственного управления инвертором УИ и соответственно скоростью и моментом двигателя. Полное управление моментом со скоростью, близкой к нулевой, осуществляется с использованием обратной связи по скорости. Такая обратная связь обеспечивает погрешности регулирования менее 1 %. Контур обратной связи при этом легко реализуется с помощью самого преобразователя частоты.

Модель САР регулирования напора (давления) в трубопроводе на основе частотно регулируемого привода может быть описана в виде, показанном на рис. 3.55, где структура $H_n(f)$ описывает частотно регулируемый насос.

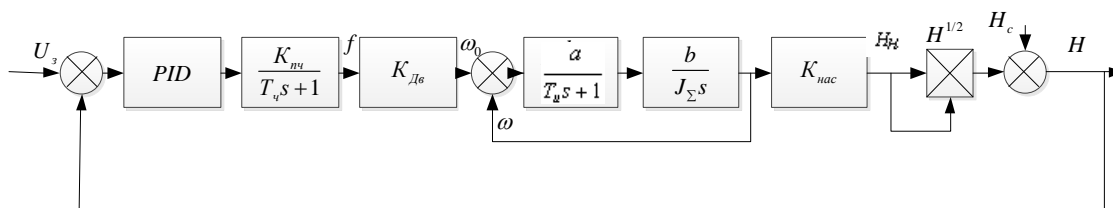


Рис. 3.55. Модель регулирования подачи жидкости в трубопроводе на основе частотно-регулируемого насоса

Широкий класс автоматизированных комплектных и унифицированных электроприводов на основе системы ПЧ-АД может быть выполнен на базе преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока серии «Универсал». Преобразователи выпускаются в диапазоне мощностей от 0,55 до 160 кВт. Преобразователи большой мощности используются в силовых приводах самих рабочих машин и установок, а преобразователи в доли и единицы кВт могут успешно использоваться в исполнительных устройствах систем автоматизации и управления для привода РО.

Интеллектуальные исполнительные механизмы (Smart actuators). Современное новое технологическое оборудование предъявляет новые требования к функциональным характеристикам исполнительных механизмов для этого оборудования. В первую очередь – это высокие скорости движения рабочих органов; высокая точность движений, необходимая для прецизионных технологий (перемещений вплоть до микро- и нанометров); быстрое и точное перемещение рабочих органов по сложным контурам и поверхностям; минимизация массогабаритных показателей; интеллектуальное поведение технологических машин, работающих в изменяющихся и неопределенных внешних средах; высокая надежность и безопасность функционирования. Эти требования вызвали появление интеллектуальных ИМ, которые могут:

- совершать сложные траекторные движения;
- адаптироваться к изменениям внешней среды;
- проводить самодиагностику;
- изменять и расширять диапазон регулирования скорости, ускорения, момента;
- координировать свои перемещения с другими ИМ;

- устанавливать направление движения привода в случае пропадания управляющего сигнала;
- выбирать метод остановки привода: по достижению конечного положения или по превышению момента;
- осуществлять перезагрузку;
- поддерживать сетевые протоколы и могут обмениваться цифровой информацией через сетевой интерфейс с другими участниками информационной сети.

Такие ИМ построены по модульному принципу и объединение модулей микроконтроллер + усилительное устройство + двигатель + механизм + датчик с соответствующим программным обеспечением микроконтроллера представляет собой интеллектуальный исполнительный механизм (рис. 3.56).

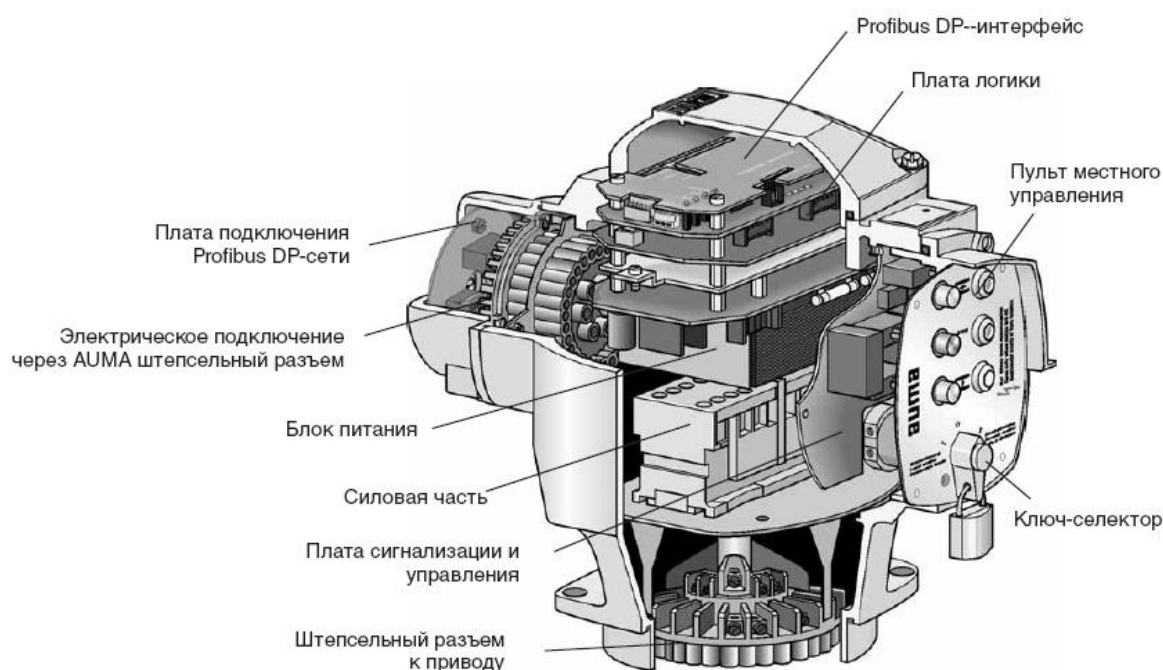


Рис. 3.56. Конструкция блока управления (AUMA MATIC) интеллектуального привода

Интеллектуальные приводы для трубопроводной арматуры позволяют обеспечивать:

- управление приводом (автоматическое от системы и дистанционное с местного поста управления или удаленного пульта управления);
- прием и передачу данных;
- блокировки;

- предупредительную сигнализацию;
- защитное отключение и управление;
- индикацию;
- настройки привода;
- регистрацию;
- регулирование температуры приборного отсека или механизма;
- просмотр переменных состояния привода.

Так интеллектуальные электроприводы *HercuLine* компании *Honeywell* обладают следующими дополнительными функциями:

- обмен данными по сетям *RS-485/Modbus*;
- программирование выходов аварийных сигналов, направлений вращения вала и диагностических параметров (время нахождения в неподвижном состоянии, величина хода вала, предельное значение температуры);

- сигнализации величины хода и конечных положений вала.

Структурная схема ИМ показана на рис. 3.57.

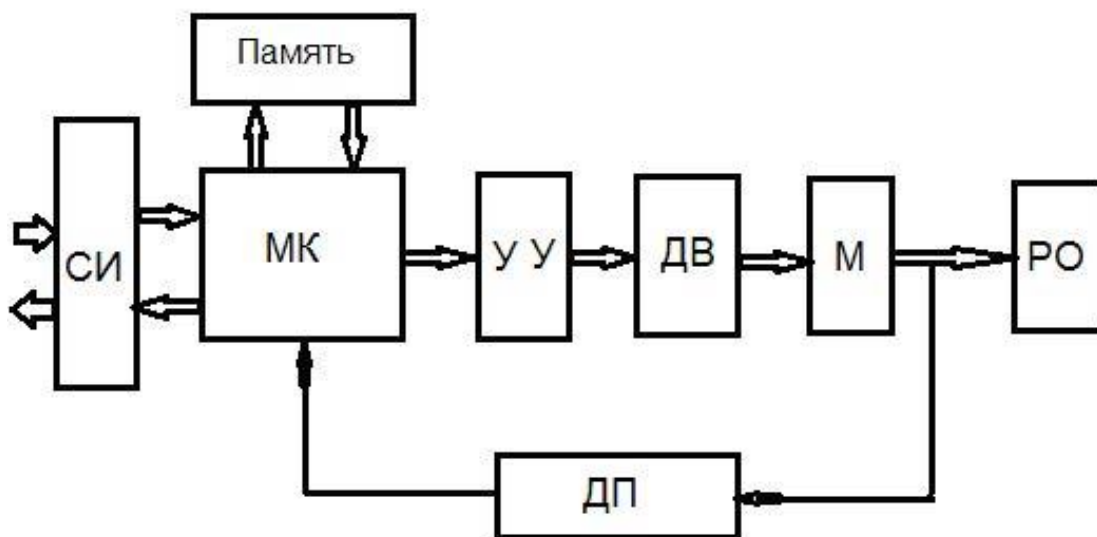


Рис. 3.57. Структурная схема интеллектуального ИМ

Здесь СИ – сетевой интерфейс.

МК – микроконтроллер (хранение конфигурации ИУ, обмен информацией контроллера с силовым преобразователем, датчиком и, при необходимости, вышестоящей управляющей ЭВМ осуществляется на основе стандартных интерфейсов).

УУ – устройство управления (управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи, преобразователи частоты, усилители мощности переменного тока).

ДВ – привод (асинхронные трехфазные двигатели с частотным преобразователем, исполнительные асинхронные микродвигатели, исполнительные двигатели постоянного тока, синхронные шаговые двигатели).

М – механизм (передаточное устройство – муфты, кинематические механизмы типа редукторов, тормозные устройства).

РО – регулирующий орган.

ДП – датчик положения регулирующего органа для преобразования механических величин (скорость, перемещение) в электрический сигнал (энкодер).

К основным техническим характеристикам, которые являются определяющими при выборе исполнительного механизма и обычно задаются в опросном листе, можно отнести:

- исполнение (в зависимости от конструкции электропривода, характера движения и вида выходного органа, способа установки и т.п.);
- назначение;
- уровень взрывозащиты;
- уровень защиты от проникновения влаги и пыли или степень защиты от попадания твердых частиц (пыли) и воды (*IP*);
- климатическое исполнение (рабочая температура);
- рабочее положение механизма;
- номинальный крутящий момент на выходном валу;
- номинальное время полного хода выходного вала;
- номинальное значение полного хода выходного вала;
- потребляемая мощность;
- масса;
- диапазон настройки путевых выключателей (обороты);
- диапазон настройки моментных выключателей;
- точность срабатывания путевых выключателей (град);
- точность срабатывания моментных выключателей.

Задание по выбору исполнительного устройства

В ПЗ необходимо предварительно задаться типом исполнительного устройства (клапан, электропривод/пневмопривод и др.). После выбора типа клапана необходимо рассчитать K_v и обосновать выбор типа пропускной его характеристики. Затем необходимо рассчитать:

- передаточные функции привода исполнительного устройства;
- связи расхода /подачи в трубопроводе с углом или процентом открытия клапана (задвижки);
- участка трубопровода и выполнить моделирование САР давления/подачи с целью выбора коэффициентов ПИД-регулятора, обеспечивающего качество САР без перерегулирования.

3.6. Выбор и описание алгоритмов управления для АС

В документе «*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 алгоритма*» содержит разделы:

- цели управления;
- стратегия управления (математическое описание);
- алгоритм решения.

В разделе «*Цели управления*» приводится:

1. Назначение алгоритма.
2. Ограничения на возможность и условия применения алгоритма и характеристики качества решения (точность, время решения и т.д.).
3. Общие требования к входным и выходным данным (форматам, кодам и т.д.), обеспечивающие правильность работы алгоритма.

В разделе «*Стратегия управления (Математическое описание)*» приводятся:

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*» приводятся:

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. Распечатка 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);
- алгоритмы автоматической защиты (*ESD*, ПАЗ);
- алгоритмы централизованного управления АС и др.

В курсовом проекте достаточно разработать следующие алгоритмы АС (рис. 3.59, 3.60):

- 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 проекте должны использоваться схемы, составленные по правилам ГОСТ 19.002, графические элементы которых показаны в табл. 3.4.

При табличной форме записи алгоритма используются обозначения, приведенные в табл. 3.5.

Таблица 3.4

Обозначения в блок-схемах по ГОСТ

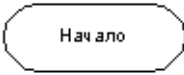

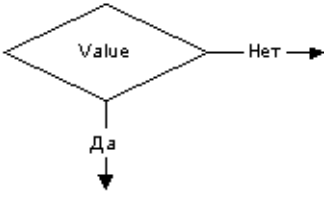
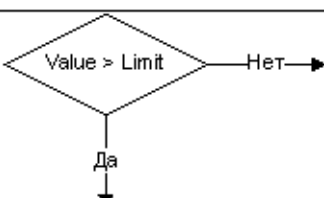
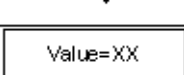
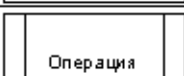
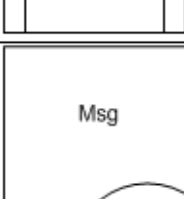




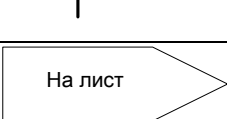

	Точка начала выполнения алгоритма (точка входа)
	Точка завершения выполнения алгоритма (точка выхода)
	Проверка Value: Да – Value не равно нулю. Нет – Value равно нулю
	Сравнение Value со значением Limit: Да – условие выполняется. Нет – в противном случае
	Присвоение Value определенного значения
	Предопределенная операция, блок алгоритма
	Генерация сообщения оператору (информационное, предупредительное или аварийное)
	Перенаправление на следующую страницу схемы
	Назначение перенаправления с предыдущей страницы схемы

Таблица 3.5

Алгоритмические обозначения МО по ANSI

	Входной сигнал
	Выходной сигнал
	Ссылка на лист или с листа

Условие	Логическое условие. Например, операция сравнения
A	Логическое «И»
OR	Логическое «ИЛИ»
○	Логическое отрицание
MS R	RS-триггер (в кружок обведён тот вход, который имеет приоритет)
DI 5s	Таймер с задержкой включения. Сигнал на выходе после появления продолжает существовать до тех пор, пока не пропадёт сигнал на входе
PO 2s	Импульс заданной продолжительности. Формируется однократно при положительном фронте сигнала на входе
	Значение «1» формируется только на момент прихода положительного фронта сигнала: если этот фронт отсутствует, то выход сбрасывается в «0»

Пример схемы алгоритма ПАЗ представлен на рис. 3.58.

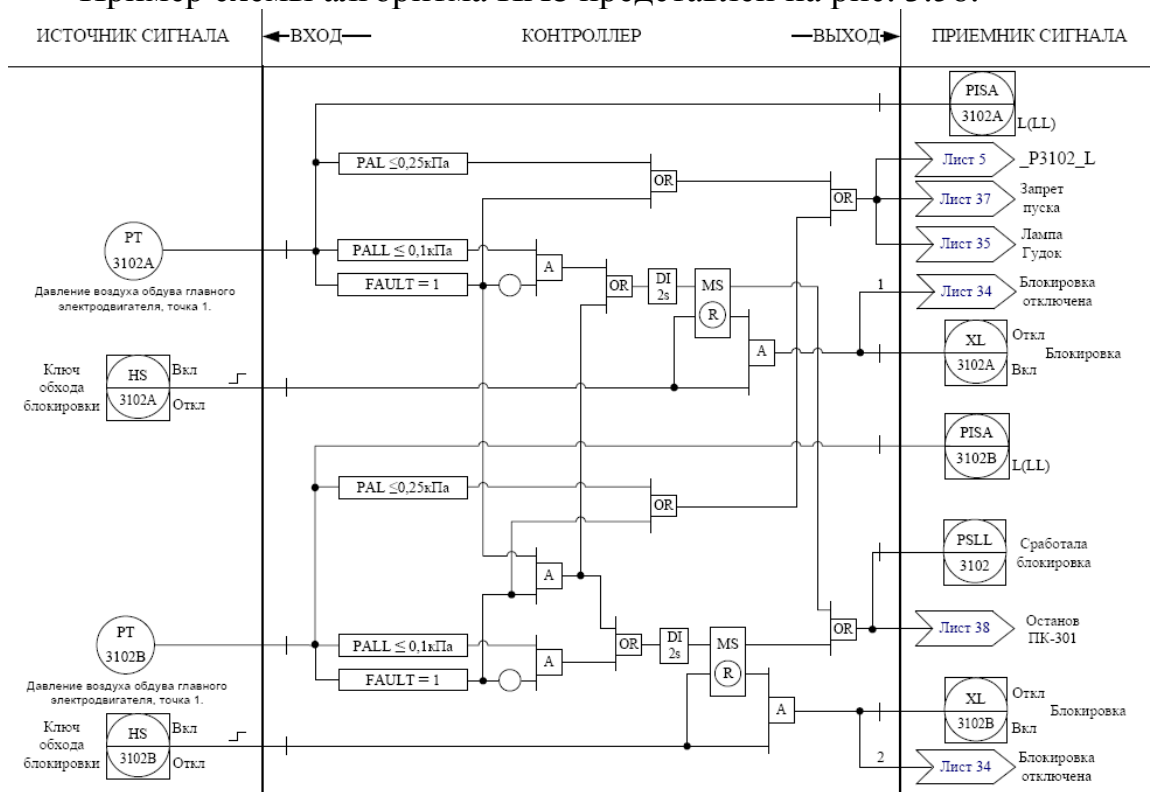


Рис. 3.58. Схема алгоритма ПАЗ в нотации ANSI

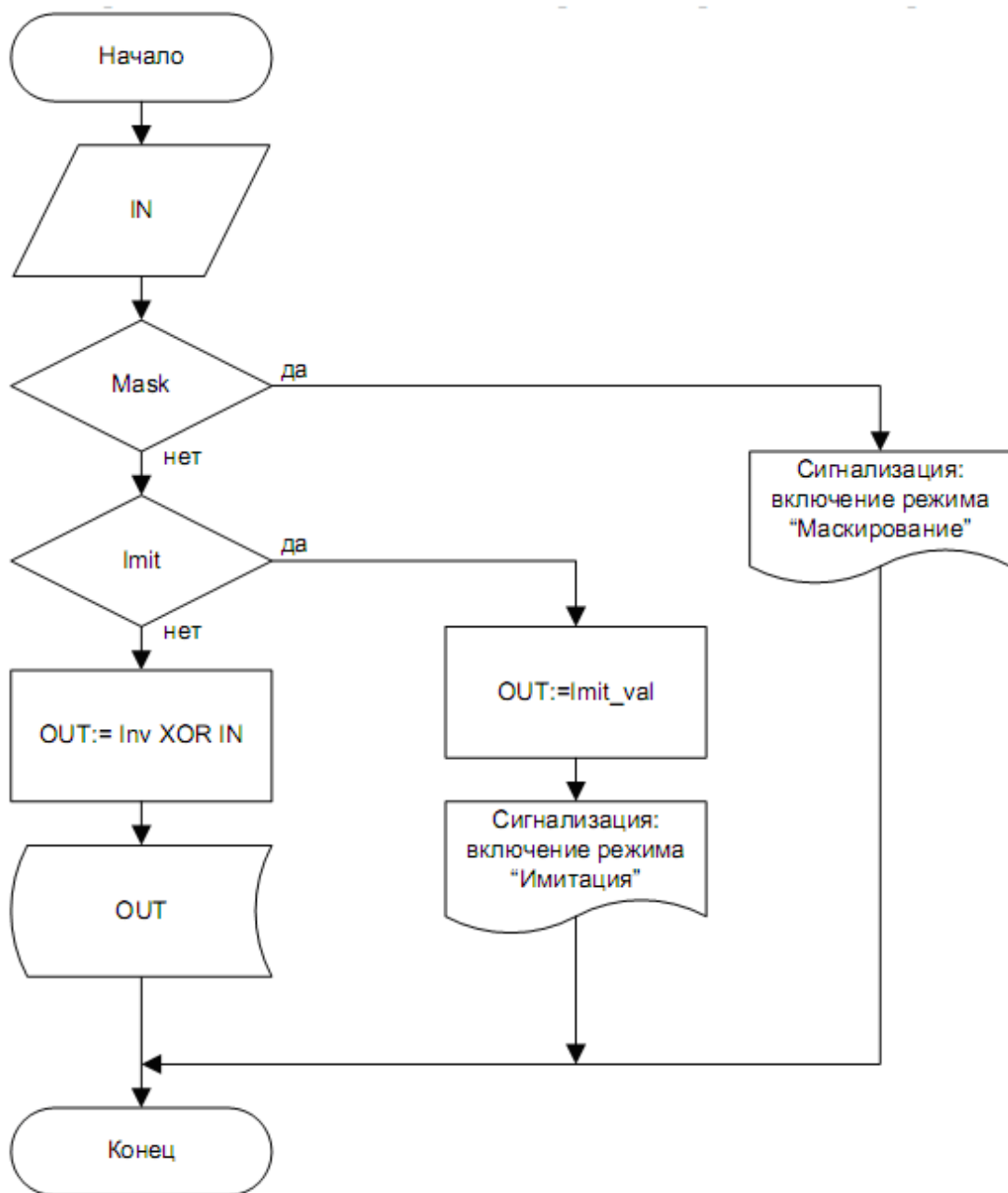


Рис. 3.59. Блок-схема алгоритма обработки дискретного сигнала

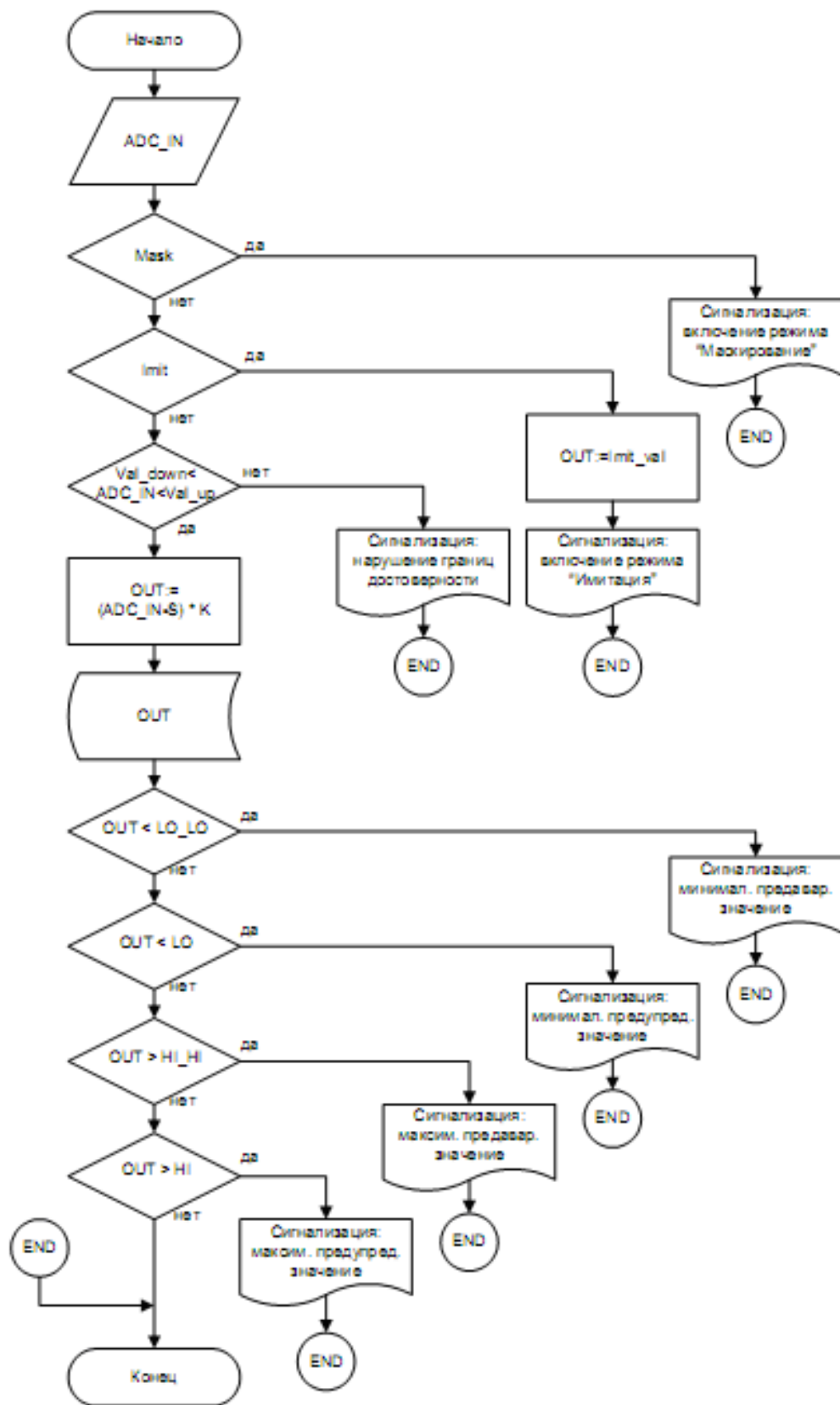


Рис. 3.60. Блок-схема алгоритма обработки аналогового сигнала

**Пояснения к блок-схеме
алгоритма обработки аналогового сигнала**

Обозначение	Тип данных	Описание
ADC_IN	WORD	Вход блока AI
Mask	BOOL	Режим маскирования включен
Imit	BOOL	Режим имитации включен
Imit_val	REAL	Значение имитации
HI_HI	REAL	Значение максимальной предаварийной уставки
HI	REAL	Значение максимальной предупредительной уставки
LO_LO	REAL	Значение минимальной предаварийной уставки
LO	REAL	Значение минимальной предупредительной уставки
Val_Up	REAL	Верхняя граница достоверности входного сигнала
Val_Dn	REAL	Нижняя граница достоверности выходного сигнала
S	REAL	Смещение нуля сигнала
K	REAL	Коэффициент масштабирования сигнала

В качестве алгоритма автоматического регулирования для одного из контуров САР проекта необходимо выбрать ПИД или АРС. Для выбранного алгоритма необходимо разработать модель САР в пакете *MatLab*.

3.7. Управление сбором данных

Рассмотрим в качестве примера управление сбором данных и генерацией сообщений о работе насоса (НС). 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 КЗ;
- *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 рис. 3.61.

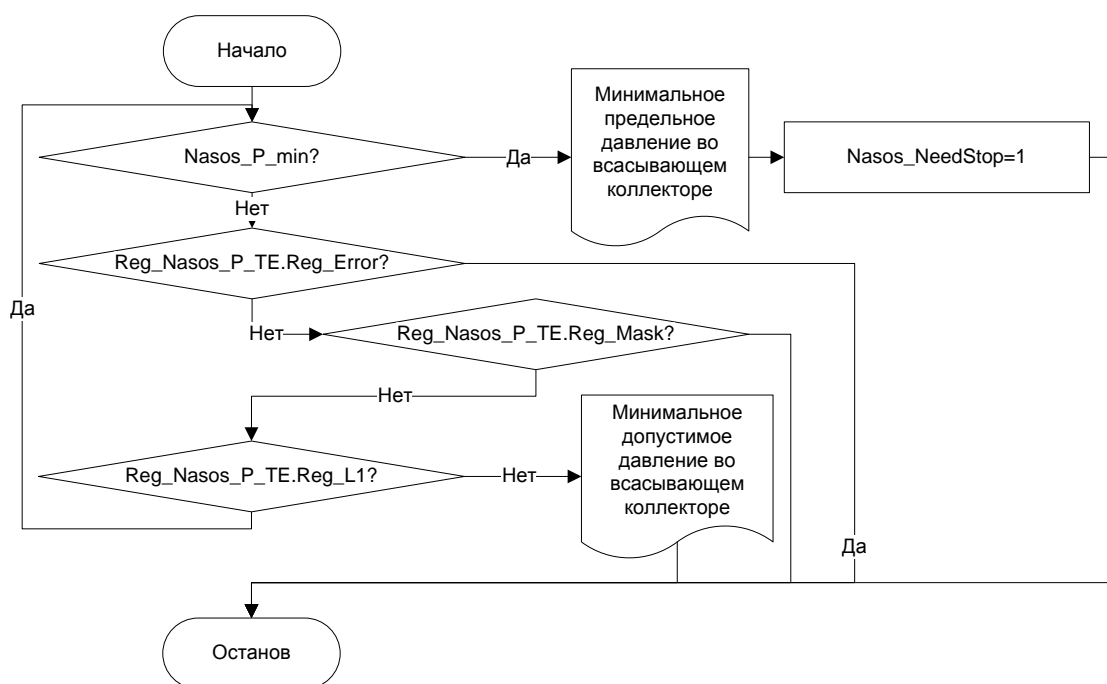


Рис. 3.61. Блок-схема алгоритма управления насосом

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 отдельных программ являются взаимоисключающими, т.е. при установке одной из программ пуска 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.

Существуют следующие взаимоисключающие режимы управления насосным агрегатом:

- дистанционный со стороны диспетчера – управление насосным агрегатом осуществляется диспетчером или оператором НС;
- 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

Для проектируемого канала сбора данных необходимо разработать блок схему алгоритма с учетом контроля минимальных и максимальных значений (контроля достоверности), масштабирования сигнала, 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 (в частности, представленную на рис. 4.5), необходимо разработать блок-схему алгоритма пуска/останова трехфазного электрического мотора насоса с использованием кодировок сигналов в соответствии с установленными в разделе информационного обеспечения.

3.8. Автоматическое 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 величине управляющего воздействия в данном канале.

3. Выбранный канал должен иметь благоприятные динамические свойства, т.е. задержку τ_d и отношение τ_d / T , где T – постоянная времени объекта, которые 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 рН, показатели качества (концентрация, плотность, вязкость и др.). Рассмотрим в качестве примера *регулирование расхода*. Необходимость регулирования расхода возникает при автоматизации практически любого непрерывного процесса. Поэтому система автоматического регулирования (САР) расхода, 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 колеба-

ниями расхода, например, при дросселировании потока через сужающее устройство).

На рис. 3.62 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.

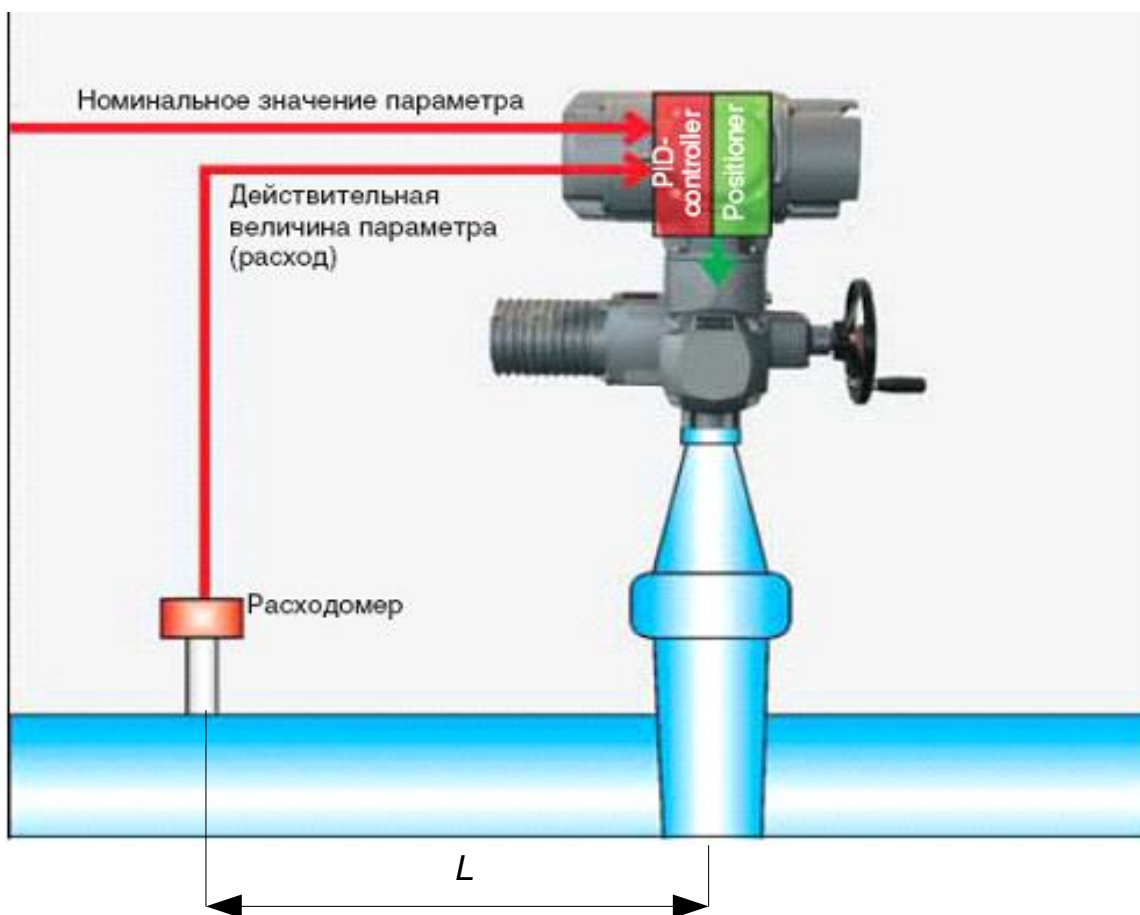


Рис. 3.62. Схема объекта управления (часть трубы)

Структурная схема автоматического регулирования расходом показана на рис. 3.63. 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 аperiодическим звеном первого порядка с задержкой (рис. 3.63). Время задержки обычно составляет доли секунд для газа и несколько секунд – для жидкости; значение постоянной времени – несколько секунд. Воспользовавшись типовой передаточной функцией трубопровода, согласно схеме управления дросселированием потока на линии нагнетания насосом, передаточная функция участка регулируемого объемного расхода жидкости трубопровода будет

$$W(p) = \frac{Q_k(s)}{Q(s)} = \frac{1}{TS + 1} e^{-\tau_0 s};$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q};$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q};$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}},$$

где $Q_k(s)$ – объемный расход жидкости после клапана;

$Q(s)$ – 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 – задержка распространения объема жидкости;

T – постоянная времени.

Пусть жидкость, перекачиваемая насосом в трубопроводе, – нефть.

Удельный вес нефти – 800 кг/с.

Длина трубопровода между датчиком и ИУ – 10 м.

Диаметр трубы – 40 мм.

Расход – 40 л/мин.

Перепад давления – 1 МПа.

Произведем дальнейшие расчеты с учетом того, что:

$$L = 10 \text{ м}, \quad d = 0,1 \text{ м};$$

$$\Delta p = 1 \text{ МПа} = 101971 \text{ кгс/м}^3;$$

$$Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0556 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$f = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi \cdot d^2}{8} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{8} = 0,00393 \text{ м}^2;$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2Lf}{Q} \cdot \frac{Q^2}{f^2} \cdot \frac{\gamma}{2\Delta pg} = \frac{LQ\gamma}{\Delta pfg} = \frac{10 \cdot 0,0556 \cdot 800}{101971 \cdot 0,00393 \cdot 9,8} = 0,113;$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q} = \frac{0,1 \cdot 0,00393}{0,0556} = 0,007.$$

Значит, передаточная функция объекта будет $W(s) = \frac{1}{0,113s + 1} \cdot e^{-0,007s}$.

Соответственно отношение $W(s) = \frac{\tau_0}{T} = \frac{0,007}{0,113} = 0,0619$ определяет хо-

рошо регулируемую систему с большой инерционностью и малой величиной задержки.

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

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 $R(s)$. 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 задержкой, 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 (например, в позиционере используется обратная связь по положению). Обычно постоянная времени такого контура регулирования 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, многопозици-

онный 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.).

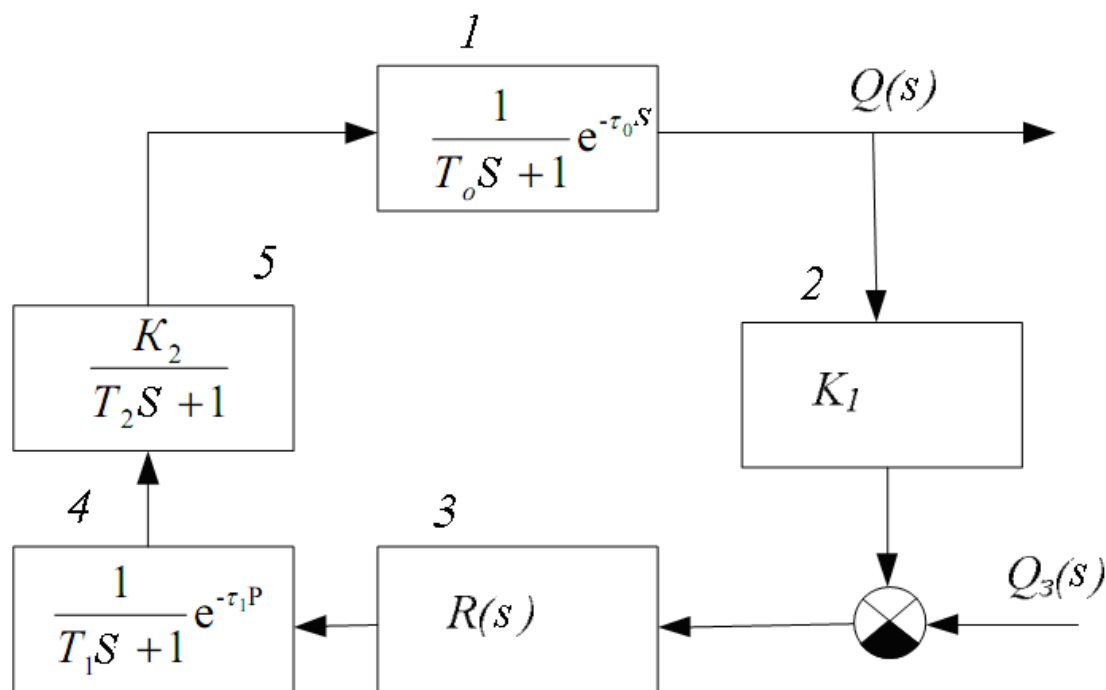


Рис. 3.63. Структурная схема автоматического регулирования расходом: 1 – объект управления; 2 – датчик; 3 – регулятор; 4 – импульсные линии пневмопривода; 5 – пневмопривод

На рис. 3.65 показана модель САРД с использованием дроссельного управления. Здесь ограничение *Saturation* указывает на ограничение перемещения PO , а ограничение *Rate Limiter* указывает на ограничение скорости электрического привода.

На рис. 3.66 показана программа двухпозиционного ШИМ-регулятора в программируемом логическом контроллере в *FB*-нотации, реализующая управление асинхронным мотором.

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. Так, регулирующие клапаны выпускаются с линейной (рис. 3.64, а) и равнопроцентной (рис. 3.64, б) пропускными характеристиками.

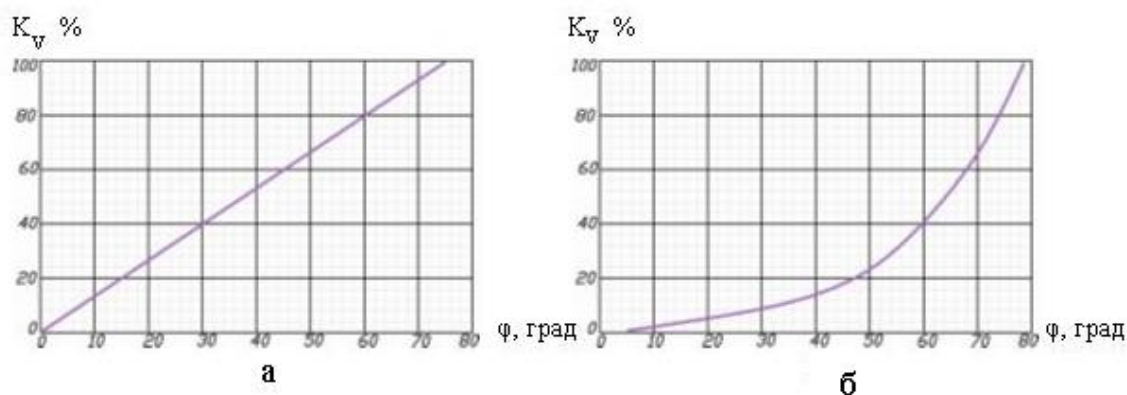


Рис. 3.64. Статическая характеристика регулирующего клапана

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

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

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

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

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

Примечание. Перед выбором закона регулирования необходимо уточнить сведения по рекомендациям управления технологическим объектом. 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.

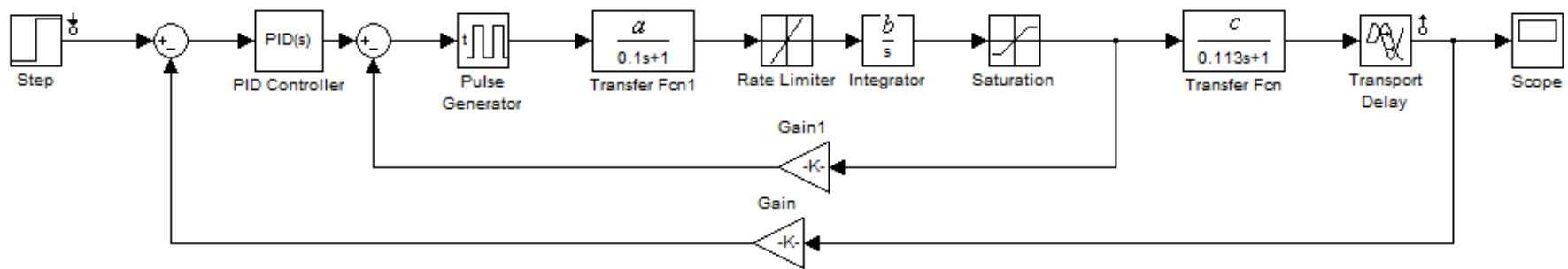


Рис. 3.65. Структурная схема автоматического регулирования расходом

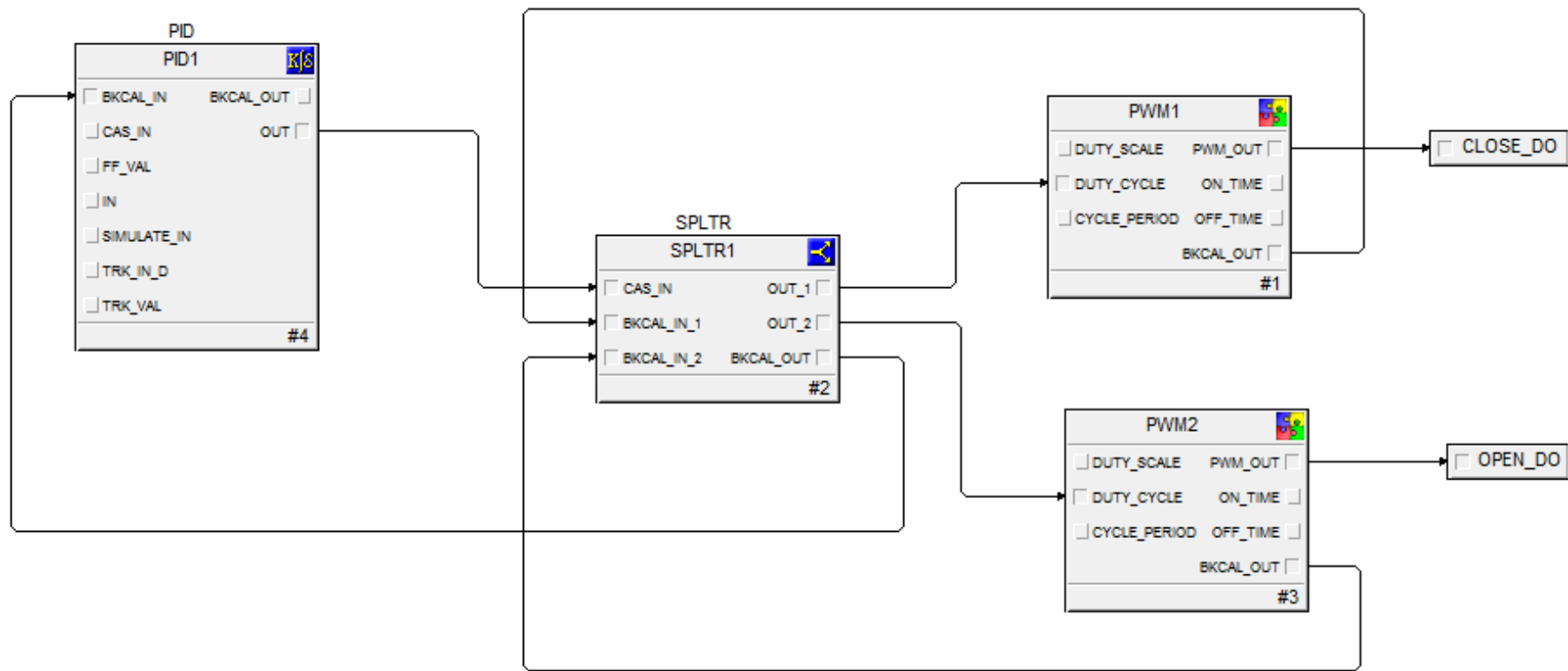


Рис. 3.66. Программный код ШИМ-регулятора положения клапана (здвижки)

При определении минимально возможного времени регулирования t_p для различных законов регулирования и типов регуляторов (при их настройке) можно руководствоваться рекомендациями для выбора закона регулирования, приведенными в таблице выбора регулятора (табл. 3.6).

Таблица 3.6

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 малой задержкой	Очень хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,1 < \tau/T < 0,2$	–	С существенной транспортной задержкой	Хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,2 < \tau/T < 0,4$	–	С существенной транспортной задержкой	Еще регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,4 < \tau/T < 0,8$	–	С существенной транспортной задержкой	Трудно регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$0,8 < \tau/T < 1$	–	С большой транспортной задержкой	Очень трудно регулируемый	Непрерывный или цифровой ПИ-, ПД-, ПИД-регулятор
$\tau/T > 1$	–	С большой транспортной задержкой	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 регулятор.

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 задержку в контуре управления (без потери качества регулирования этот же регулятор можно 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.

В ПИД-алгоритмах используются П-, ПИ-, ПИД-законы регулирования.

Передающая 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 u).

Исходя из соотношения t_p/τ (табл. 3.6), 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 задержкой, 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.

Передающая 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 управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования;
- 3) обладает малой чувствительностью к шумам в канале измерения (в отличие, например, от ПД-типа).

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

Передаточная функция ПИД-алгоритма $W_{\text{пид}}(s) = K_1 + 1/T_i s + T_d s$.

Этот алгоритм используется довольно часто, поскольку он сочетает в себе достоинства всех вышерассмотренных. 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 $\tau < 0,2 T$ 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 и далее дать описание.

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 в альбоме (см. структурная схема САР локального технологического объекта, результаты моделирования, исследования, выбор параметров регулятора САР в *MatLab*, ФЮРА. 425280. 001 ЭС 10).

Задание по разработке алгоритма САР

Студент в ПЗ должен обосновать выбор канала регулирования. В ПЗ необходимо описать способ регулирования выбранного канала.

В разделе выбора параметров ПИД-алгоритма регулирования необходимо разработать структурную схему САР. 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* (прил. 16) и сравнить результаты настроек по методике Цидлера и матлаба.

Пусть, например, необходимо стабилизировать параметр $y(t)$ объекта с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{0,87 \cdot e^{-0,2s}}{3,1s + 1}.$$

Передаточная функция указывает на наличие у ОУ задержки 0,2 с. Объект (табл. 3.6) хорошо регулируемый. Возможно использование релейного или непрерывного ПИД-регулятора. Релейный регулятор, вероятно, приведет к непрерывным колебаниям перенастройки управляющего воздействия регулятора, что вызовет его быстрый износ. ПИД-регулятор может обеспечить эффективную стабилизацию регулируемой величины. Поэтому выбираем ПИД-регулятор для САР. Составляем структурную схему моделирования в среде *Simulink* (рис. 3.67).

Выход объекта $y(s)$ подключается к входу регулятора ПИД через АЦП (в проекте следует указать передаточную функцию измерительного устройства). Необходимо пояснить каким образом осуществляется задание уставки и учесть необходимость масштабирования сигнала с датчика. Управляющее воздействие регулятора подается через ЦАП на регулирующий орган. Регулирующий орган в этом примере имеет упрощенную передаточную функцию. В проекте им будет привод дроселирующего устройства, включающий в себя мотор, редуктор, (позиционер), клапан (задвижку), либо некоторый источник энергетического воздействия на объект управления. В САР необходимо указать возмущающее воздействие и объяснить пути ему противодействия в автоматическом режиме управления.

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

дят 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.

Провести сравнительный анализ качества переходных процессов САР, настроенных по методике Цидлера и в MatLab.

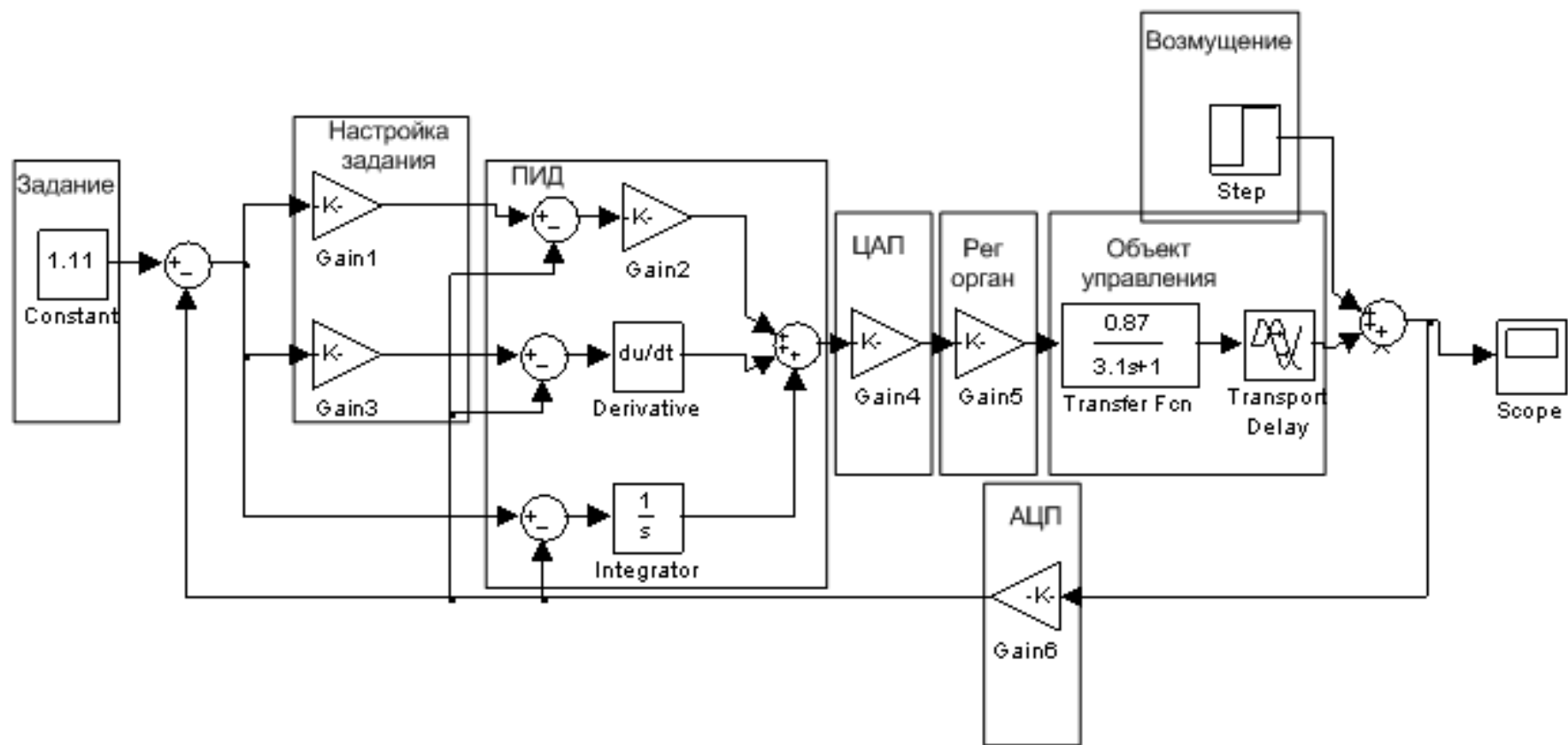


Рис. 3.67. Модель САУ в Simulink

3.9. Системы сигнализации АС

В АС различают цепи командной, технологической, предупредительной и аварийной, пожарной и газовой сигнализации.

Различают девиационную и абсолютную сигнализации:

- *девиационная технологическая сигнализация* используется в случаях, когда необходимо сигнализировать отклонение контролируемого технологического параметра от предупредительного значения уставок сигнализации. Она используется также в случае, если логика АС устанавливает зависимость уставок регулятора от уставок срабатывания сигнализации;

- *абсолютная (независимая) сигнализация* используется в случае, когда необходима сигнализация о выходе технологического параметра за установленные уставки, представленные в абсолютных величинах. Например, в системе управления независимо функционируют два контура автоматизации – автоматическое регулирование и система сигнализации. Если оператор имеет возможность независимо устанавливать уставки регулирования и сигнализации, то используемую систему сигнализации могут называть абсолютной (независимой). Другими словами, уставки сигнализации являются независимыми от уставок регулирования. Такая сигнализация используется, в частности, при срабатывании схем аварийной защиты.

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

Сигнализация служит для предоставления следующих видов информации:

- для привлечения внимания оператора или передачи ему сигнала о выполнении определенного действия (индикация). Для этого обычно используют красный, желтый, зеленый и голубой цвета;

- 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.

Классификация сообщений систем сигнализации показана на рис. 3.68.

Здесь для распознавания нарушений используются следующие унифицированные обобщенные индикаторы событий.

Технологическая сигнализация (сигналы о нарушениях технологического режима: выход за установленные пределы технологических параметров, выход из строя элементов оборудования, например, отключение насоса или серьезное нарушение их режима работы и т.д.):

- А – аварийная (белая буква на красном фоне).
 П – предупредительная (черная буква на желтом фоне).
 Д – допустимая (черная буква на голубом фоне).

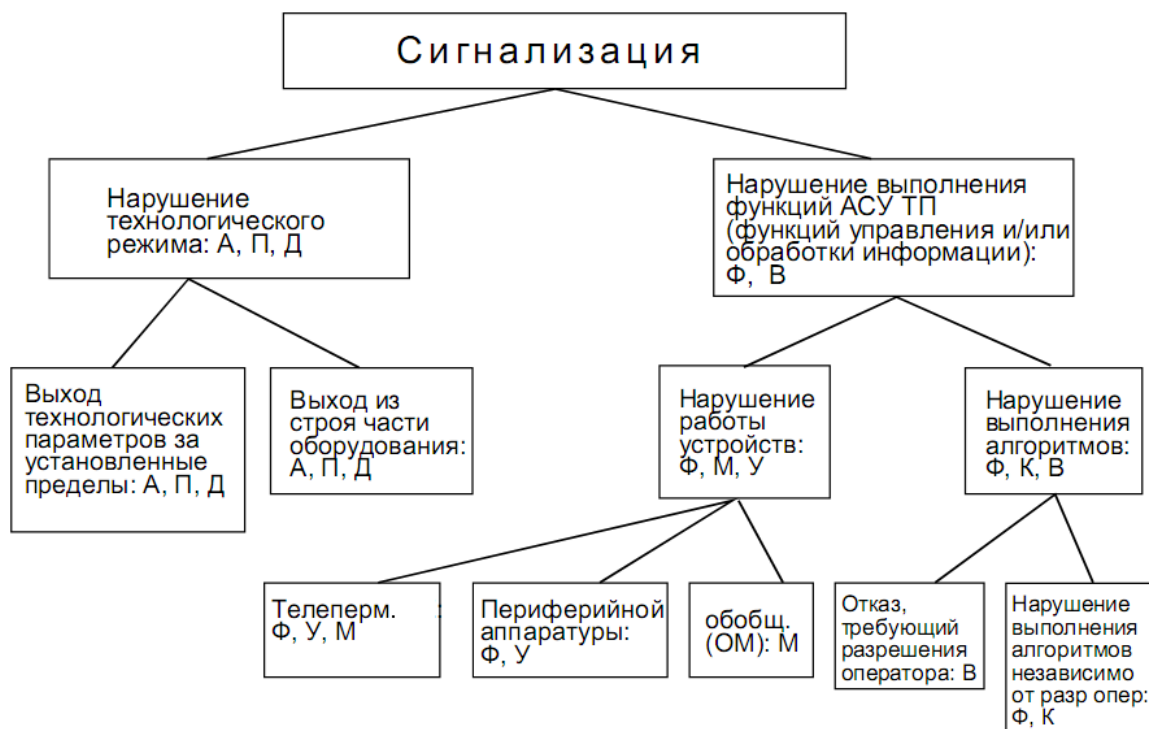


Рис. 3.68. Типовые сообщения сигнализации АС

К функциональным отказам относятся сигналы об отказах функций управления и/или обработки информации. Причинами этого отказа могут быть:

- отказ, например, неисправность модуля;
- неисправность периферийных устройств, например, датчика;
- неисправность компонентов модуля;
- нарушение нормальной работы собственно алгоритма управления, например, приостанов пошаговой программы;
- невозможность выполнения команды управления исполнительным органом из-за отсутствия сигнала технологического разрешения, появление недопустимой величины сигнала небаланса на входе регулятора и т.д.

В числе функциональных отказов отдельной группой выделяются отказы, приводящие к приостанову выполнения функции управления до получения разрешения оператора на дальнейшее ее выполнение.

Функциональная сигнализация:

Ф (красная буква на черном фоне) – отказ одной из функций управления и/или обработки информации;

М (красная буква на сером фоне) – отказ, который не может быть отнесен однозначно к одной из функций управления и/или обработки информации, – обобщенный отказ, например, отказ модуля;

У (черная буква на оранжевом фоне) – отказ одного из элементов аппаратуры системы ТПТС-51;

К (красная буква на черном фоне) – косвенный отказ при работе алгоритма, который не может быть определен как отказ определенного устройства;

В (черная буква на зеленом фоне) – приостанов выполнения функции управления, требующий разрешения оператора на дальнейшее ее выполнение;

М (черная буква на розовом фоне) – сбой АСУ;

О (черная буква на красном фоне) – действия оператора;

С (черная буква на синем фоне) – изменение состояния.

Если между разработчиком АС и заказчиком 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.

Технологическая сигнализация (рис. 3.69) служит также для представления оперативному персоналу сигналов:

- о положении механизмов технологического, электротехнического, вентиляционного, канализационного и другого оборудования (насос

включен или выключен, вентилятор в работе, напряжение в цепи питания имеется, шиббер поднят или опущен, задвижка открыта или закрыта и т.д.);

- о состоянии параметров технологического процесса (отклонение параметра от установленной величины, наличие или отсутствие в конкретном месте тех или иных предметов или веществ в определенном объеме и концентрации и т.д.).

Этот вид технологической сигнализации может быть двух подвидов: предупредительной и аварийной.

Предупредительная технологическая сигнализация – сигнализация о ненормальных, но еще допустимых значениях контролируемых или регулируемых величин, о нарушениях нормального режима работы отдельных агрегатов или всей установки в целом. Появление предупреждающих сигналов указывает оперативному персоналу на необходимость принятия определенных мер для устранения возникающих неисправностей. Предупредительная сигнализация обычно выполняется индивидуально в виде табло или транспаранта, загорающих при подаче сигнала, определяющего характер и место возникновения неисправного режима, а также в виде общего для щита управления звукового сигнала, предназначенного для привлечения внимания эксплуатационного персонала.

Аварийная технологическая сигнализация – сигнализация о недопустимых значениях контролируемых величин, об аварийных состояниях на отдельных участках технологического процесса или об аварийных отклонениях контролируемых объектов. Появление аварийных сигналов часто сопровождается действием различных устройств блокировок (*ESD*). Аварийная сигнализация, требующая, как правило, немедленного вмешательства оперативного персонала, осуществляется, в отличие от предупредительной сигнализации, мигающим светом и звуком резкого тона.

Характер технологического процесса на некоторых объектах допускает кратковременное отклонение технологических параметров от нормы с последующим его восстановлением. В подобных случаях схемы сигнализации должны обеспечивать подачу сигналов с выдержкой времени, несколько большей, чем допустимое время отклонения параметра от нормы.

По виду сигнализации различают световую, звуковую и светозвуковую сигнализацию. Только световая или только звуковая сигнализация применяются редко. Так, самой простой цепью световой сигнализации является цепь со световым элементом (лампа, табло, светодиод).

В качестве примера чисто звуковой сигнализации можно привести включение специального ревуна при аварийной ситуации в помещении, в котором появилась угроза пожара или взрывоопасная атмосфера.

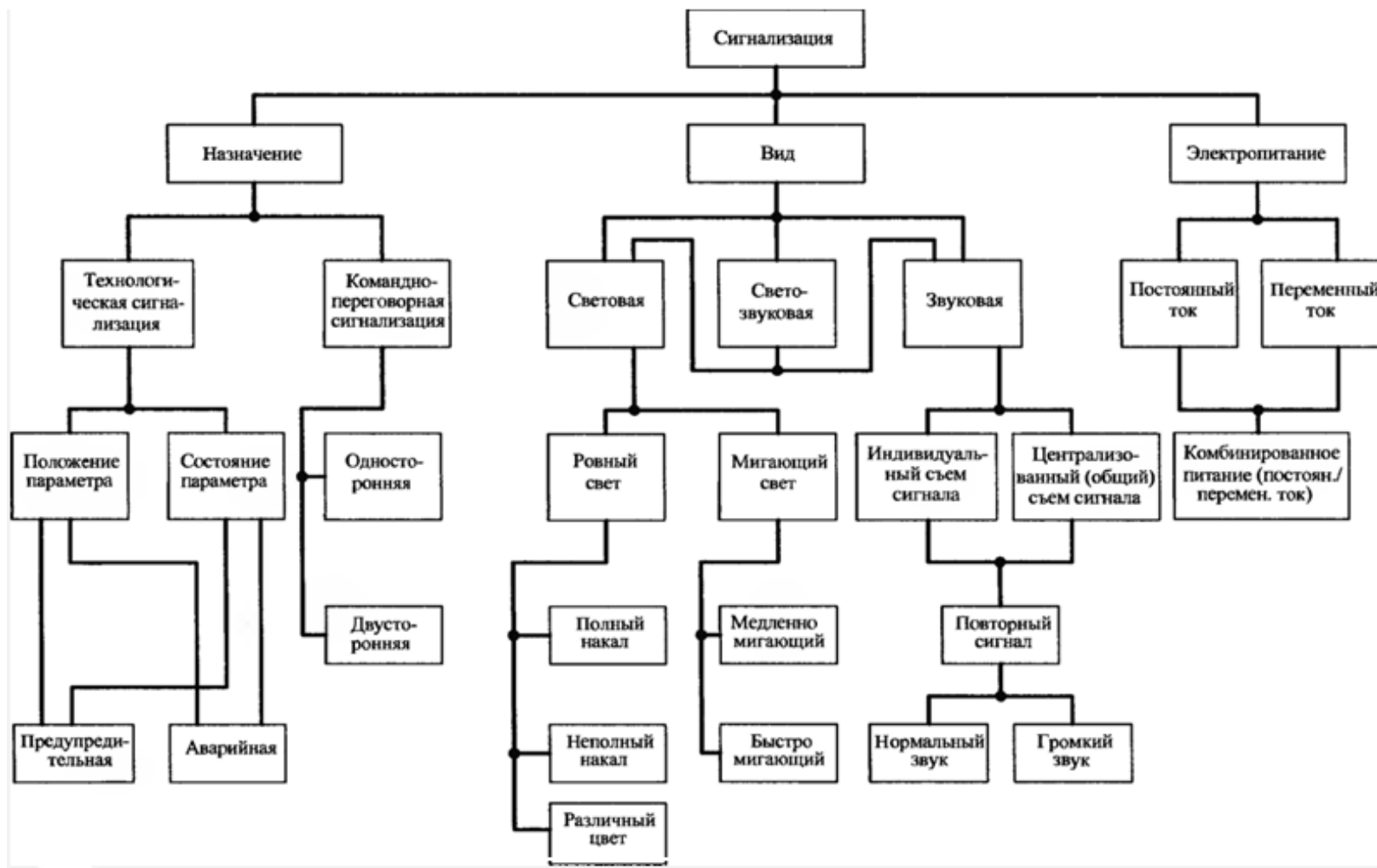


Рис. 3.69. Классификация атрибутов технологической сигнализации

Световая часть схемы технологической сигнализации может строиться на использовании либо только ровного света (схема Р), либо ровного и мигающего света (схема М).

Сигнализация ровным светом (схема Р) применяется при небольшом количестве сигналов и/или для сигнализации параметров или положений, которые редко изменяют состояние.

При значительном числе сигналов или для сигналов с частым изменением своего состояния применяется схема с ровным и мигающим светом (схема М).

В нефтегазовой отрасли находят применение следующие системы сигнализации:

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

Для контроля приближения наблюдаемого параметра к его предельному значению используются специальные устройства. В этот момент устройство контроля замыкает электрическую цепь, в которой лавинообразно нарастает ток, достаточный для срабатывания приемного элемента, или размыкает электрическую цепь, в которой ток снижается до величины, достаточной для отключения приемного элемента.

В качестве элемента контроля может быть применен «сухой контакт» средства автоматизации или командоаппарата, транзистор, управляемый диод, оптрон, индуктивный или емкостный датчик и т.д.

Большинство цепей сигнализации являются двухпроводными цепями. Исключение составляют цепи *PNP* или *NPN* постоянного тока, имеющие в цепи три провода. Такое включение характерно для индукционных датчиков нормально открытого и закрытого типов (рис. 3.70). Здесь показана *Load* (щитовая нагрузка) для индукционного датчика *PNP* дискретного типа.

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.

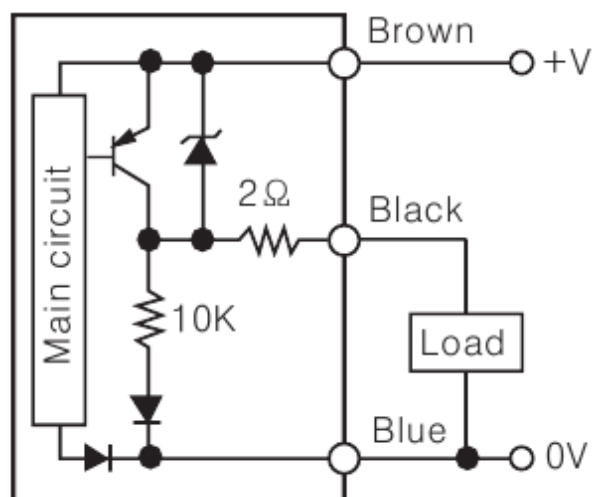


Рис. 3.70. Выходная цепь контактного индуктивного датчика

Релейные схемы для сигнализации в последнее время замещаются контроллерными исполнениями, отличительной особенностью которых является алгоритмическая реализация принципиальных схем в ПЛК (рис. 3.71). Многие из таких алгоритмов реализуются с использованием стандартных библиотек.

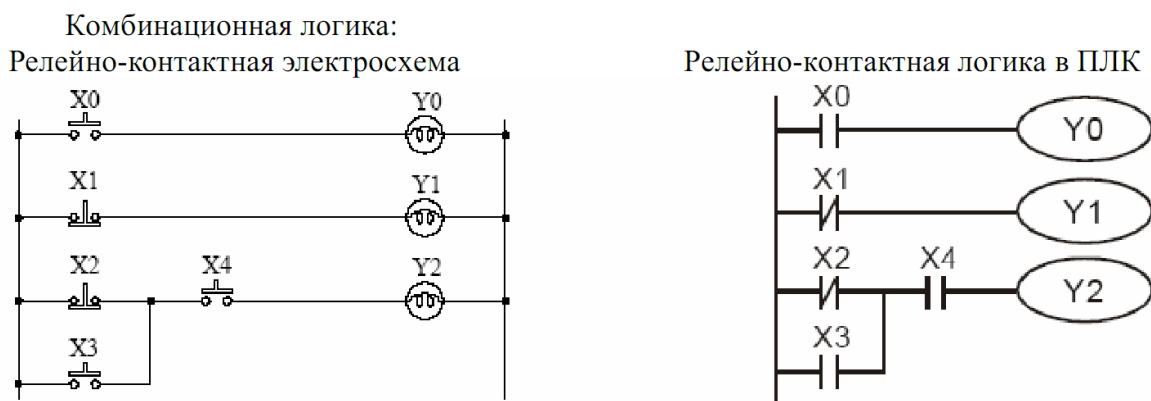


Рис. 3.71. Программирование релейной логики в ПЛК

В этом случае выполнять принципиальную электрическую схему контроля нецелесообразно, т.к. все необходимые для проектирования данные могут быть указаны на схемах внешних проводок и соединений.

Система газосигнализации предназначена для автоматического контроля воздушной среды в газоопасных помещениях: в случае превышения предельных и аварийных установленных уровней система выдаёт соответствующие сигналы в контроллер аварийной защиты и в общую систему управления станцией. Газосигнализация является обязательной для всех предприятий, имеющих взрывоопасные и пожаро-

взрывоопасные 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.

Система пожарной сигнализации предназначена для автоматического обнаружения, извещения о возникновении очага пожара. Она 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 (ESD, ПАЗ) предназначена (рис. 3.72):

- 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 АС для сигнализации, регистрации и архивирования (отклонения параметров, 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).

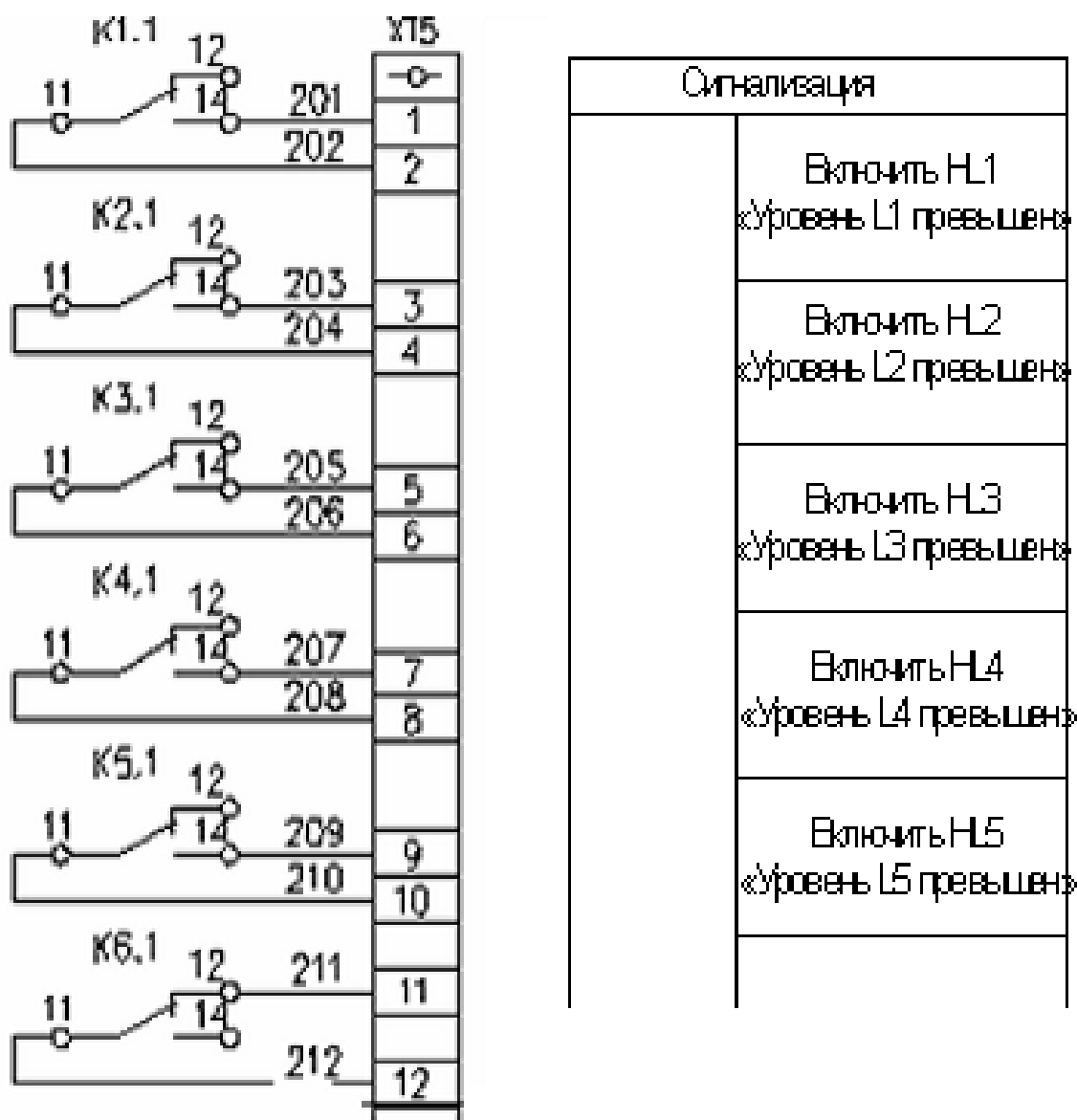


Рис. 3.72. Схема технологической сигнализации с использованием ПЛК

SCADA-сигнализация. Она относится к командному типу сигнализации, которая реализуется с использованием человеко-машинного интерфейса. Одной из наиболее важных функций систем ЧМИ является информирование оператора событиях, требующих его вмешательства. В английском языке для обозначения данного функционала существует устоявшийся термин *alarm*, наиболее адекватным русским переводом которого можно считать вариант «сигнализация».

По определению, предложенному международной ассоциацией по стандартизации *ISA*, сигнализация (*alarm*) – это звуковое или визуальное средство оповещения оператора о неполадках оборудования, отклю-

нениях в ходе технологического процесса или нештатной ситуации, требующей вмешательства. На подсистему сигнализации возлагается две основные задачи:

- привлечь внимание оператора к факту наступления события, требующего необходимости вмешательства в работу системы управления;
- дать оператору начальную информацию об этом событии для анализа ситуации и последующего принятия решений.

Дополнительно подсистема сигнализации может протоколировать в электронном или бумажном виде факты и время включения, отключения и квитирования (подтверждения оператором) каждого срабатывания сигнализации.

На сегодняшний день подсистемы ЧМИ используют два канала восприятия человека – зрение и слух. В зависимости от особенностей технологического объекта и режима работы для привлечения внимания оператора могут использоваться разнообразные средства: вывод сообщения на экран компьютера или операторской панели, изменение цвета элементов мнемосхемы, включение ламп сигнализации или проблесковых маячков, а также генерация звукового сигнала на компьютере или с помощью специальных устройств.

Системы управления с распределенными объектами могут извещать операторов посредством отправки коротких сообщений на *GSM*-или *DECT*-телефоны.

Для решения второй задачи – начального информирования оператора – преимущественно используется канал визуального восприятия, на который приходится по оценкам разных исследователей от 80 до 90 % всей воспринимаемой человеком информации.

Информирование оператора путем воспроизведения голосовых сообщений в общем случае менее эффективно за счет низкой «пропускной способности» аудиального канала восприятия.

Обычно события подразделяются на классы, например, аварийные, предупредительные, технологические, системные, и каждому классу задается собственный приоритет, соответствующий важности этих сообщений для оператора. При наличии нескольких активных сообщений оператору они обычно предъявляются не в хронологическом порядке, а в порядке приоритета.

Важной функцией подсистемы сигнализации является возможность создания сообщений не только в рамках *SCADA*-системы, но и на контроллерном уровне. Генерация сообщений в ПЛК и последующая их передача в *SCADA*-систему является более сложной процедурой, но она позволяет фиксировать последовательности быстротекущих событий и намного точнее присваивать событиям метки времени. Здесь важным

фактором является совместимость и открытость SCADA-системы и ПЛК. Например, задача создания и пересылки сообщений из контроллеров SIMATIC в WinCC решается использованием готовых программных блоков, а для приема сообщений от какого-нибудь экзотического ПЛК придется, во-первых, разработать блок генерации и пересылки сообщений, а во-вторых, написать DLL их приема и расшифровки.

В ПЗ алгоритмы SCADA-сигнализации могут представляться в двух видах в виде блок-схемы (рис. 3.73) или в виде описания ANSI/ISA 5.2.

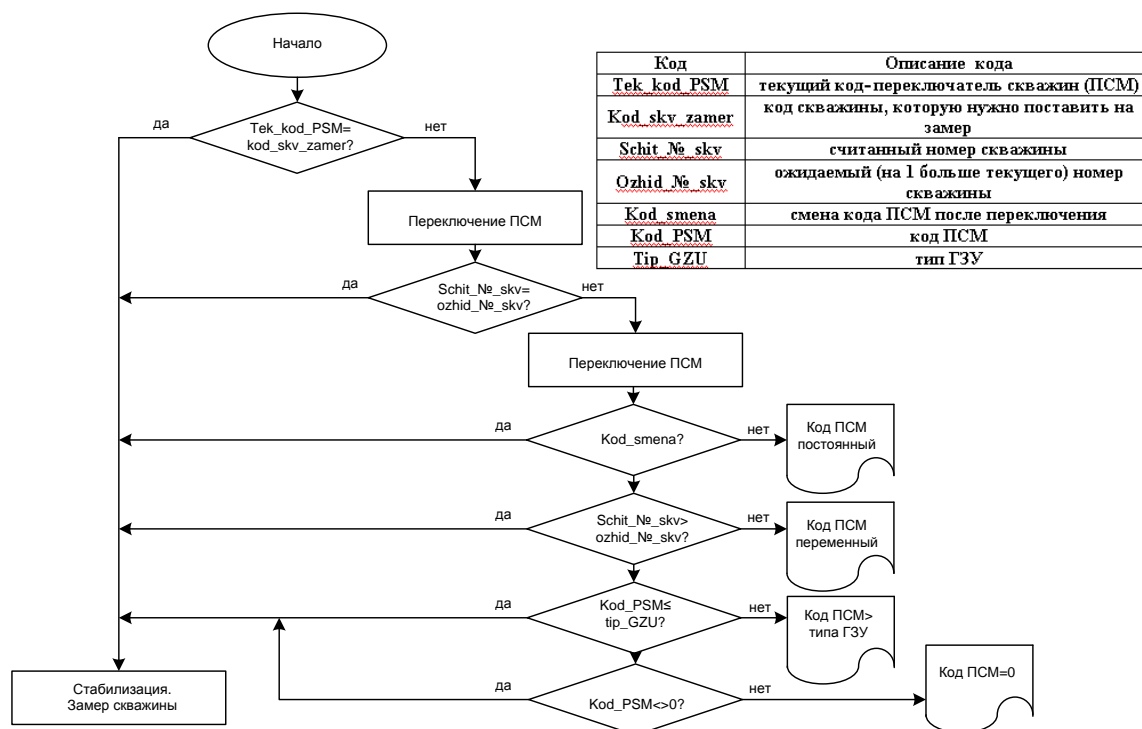


Рис. 3.73. Блок-схема SCADA-сигнализации переключателя скважин АГЗУ

Задание по выбору видов сигнализации АС

В ПЗ необходимо провести анализ вариантов сигнализации и осуществить выбор. Этот выбор должен указать тип сигнализации для каждого контролируемого параметра. Для одного из контролируемых параметров технологического объекта необходимо разработать блок схему SCADA-сигнализации (рис. 3.73) с учетом, принятой в проекте, кодировкой сигналов.

4. РАЗРАБОТКА СХЕМНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Обычно для схемной документации АС назначают общий код АТХ. Различают следующие схемы:

- кабельное сооружение, проемы и закладные устройства (кабельный журнал) АТХ.КЖ;
- связь и сигнализация АТХ.СС1;
- сети передачи данных (Зд.СС2); АТХ.СС2;
- размещение элементов автоматики на технологическом оборудовании и трубопроводах АТХ.Тх;
- отопление, вентиляция и кондиционирование АТХ.ОВ;
- водопровод и канализация АТХ.ВК;
- электроосвещение АТХ.ЭО;
- пожарная сигнализация и пожаротушение АТХ.ПС.
- обеспечение электроэнергией здания АТХ.ЭС;
- обеспечение сжатым воздухом АТХ.ВС;
- обеспечение гидравлической энергией АТХ.ТЧС;
- обеспечение теплоносителем/хладагентом АТХ.ХС.

4.1. Разработка принципиальной схемы автоматизации

Принципиальные электрические схемы определяют действия аппаратов, устройств и приборов по обеспечению решения задач контроля, измерения, защиты, блокировок, сигнализации, управления и регулирования АС управления технологическим процессом [2].

Принципиальные схемы позволяют анализировать действия как всей системы в целом, так и отдельных ее элементов, и цепей во взаимосвязи их с другими цепями и элементами. Они должны давать полное представление о функциональной работоспособности АС, о связях между собою всех элементов контроля, сигнализации, защиты, блокировок и управления.

Принципиальные схемы являются основанием для разработки других материалов проектной документации: общих видов щитов и пультов, схем соединений, подключений, спецификаций, сметных расчетов и др. Принципиальные схемы служат основным документом для наладки и эксплуатации отдельных цепей, схем и всей системы управления в целом.

Принципиальные схемы выполняются в состоянии АС, отключенной от источника электропитания и без внешнего воздействия на механические части электрических устройств и элементов. При необходимо-

сти допускается изображать элементы и устройства находящимися под внешней нагрузкой или при включенном электропитании с обязательным указанием об этом на поле чертежа.

Элементы и устройства на схеме изображаются в виде условных графических обозначений, определенных ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.708-81. 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.

ГОСТ 2.709-89 устанавливает требования к обозначению цепей, а ГОСТ 2.710-81 – к буквенно-цифровым обозначениям элементов схем. Общие требования по выполнению принципиальных схем систем автоматизации содержатся в ГОСТ Р 21.408. На чертежах принципиальных электрических схем системы автоматизации в общем случае должны изображаться:

- цепи управления, регулирования, измерения, сигнализации, электропитания, силовые цепи;
- контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах, и контакты аппаратов других схем;
- диаграммы и таблицы включений контактов переключателей, программных устройств, конечных и путевых выключателей, циклограммы работы аппаратуры;
- таблицы применяемости;
- поясняющая технологическая схема, схема блокировочных зависимостей работы оборудования;
- циклограмма работы оборудования;
- необходимые пояснения и примечания;
- перечень элементов;
- основная запись.

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.

Все технические средства, отображенные на принципиальной схеме, должны быть однозначно определены и записаны в перечень элементов и устройств по форме в соответствии с ГОСТ 2.702-2011. Элементы и устройства изображаются *совмещенным или разнесенным способом*, допускается частичное неполное изображение с показом только используемых частей элементов или устройств (рис. 4.1).

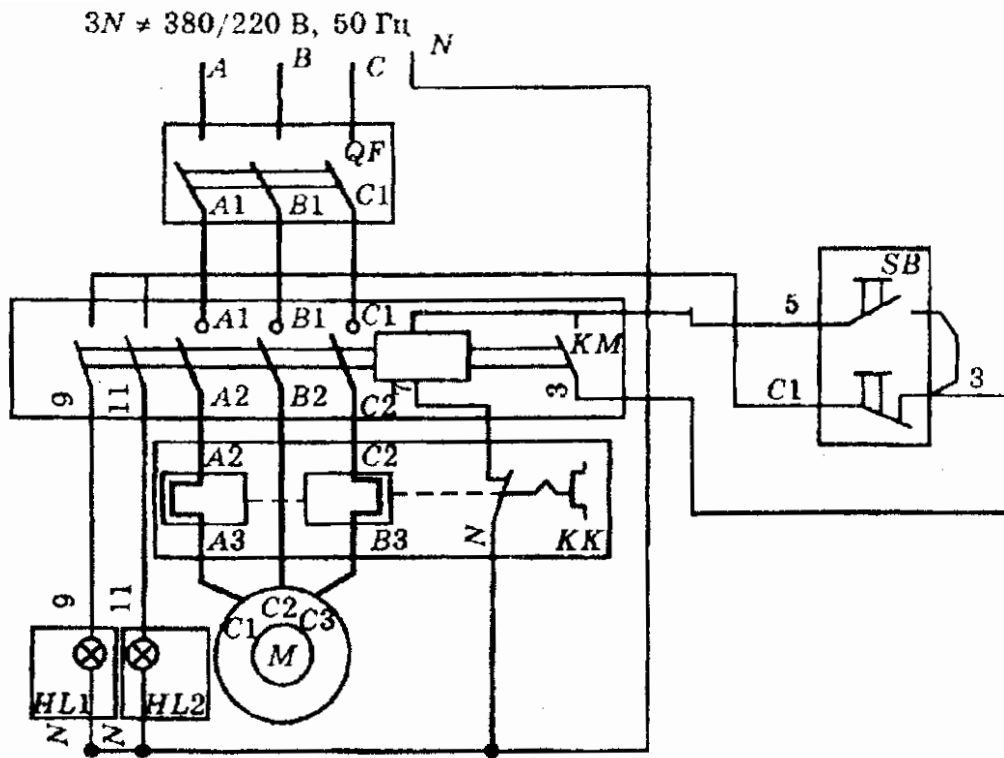
При совмещенном способе все части каждого прибора, технические средства автоматизации и электрического аппарата располагают в непосредственной близости и заключают в прямоугольный, квадратный или круглый контур, выполненный сплошной тонкой линией (рис. 4.1, *а*).

При *разнесенном способе* (рис. 4.1, *б*) составные части элементов или устройств изображаются на схеме в разных местах. Это упрощает понимание принципиальной схемы.

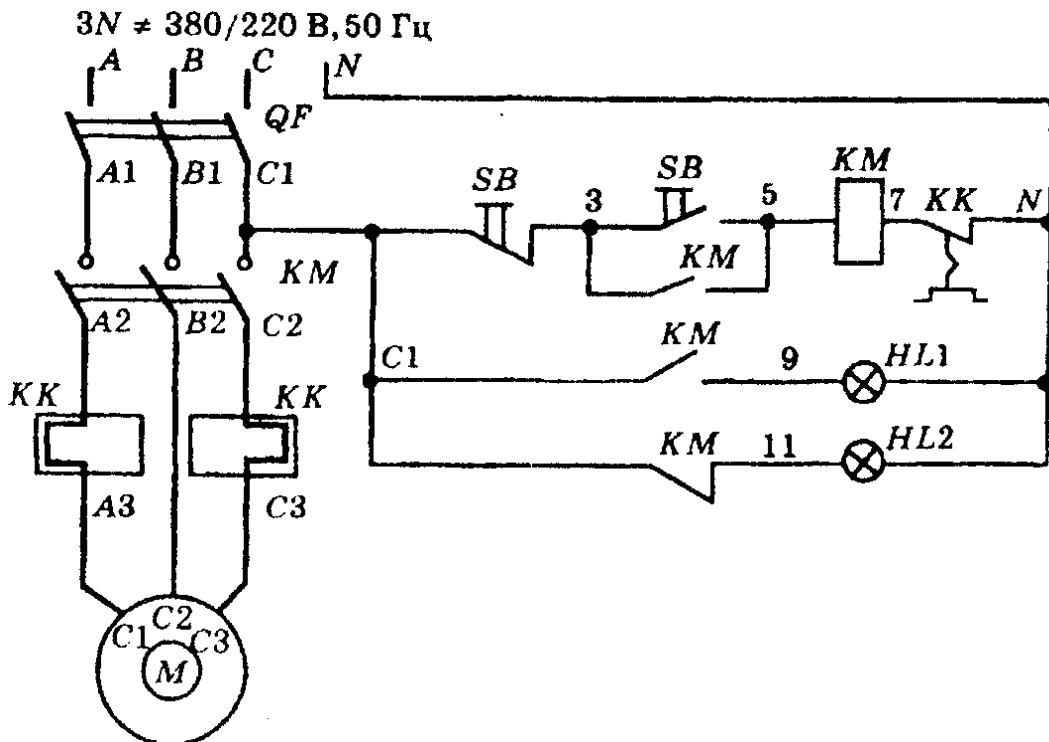
В одной схеме возможно использовать одновременно оба способа изображения. При разнесенном способе рекомендуется на свободном поле чертежа помещать условные графические обозначения элементов, выполненные совмещенным способом.

Схемы выполняются без соблюдения масштаба (размеры условных графических обозначений устанавливаются ГОСТ 2.747-68 или в стандартах на соответствующие обозначения).

Пространственное положение устройств или элементов, как правило, не учитывается. Однако предпочтительным является изображение элементов и устройств функциональной группы или установки (щит, пульт, помещение, наружная установка и т.п.) в смежных цепях электросхемы с очерчиванием (выделением) штрихпунктирной линией и указанием наименования или обозначения функциональной группы, установки или помещения.



a



б

Рис. 4.1. Принципиальные электрические схемы управления электропроводами: а – совмещенные; б – разнесенные

При разнесенном способе схемы типа СС1, как правило, выполняются так называемым строчным способом (рис. 4.2).

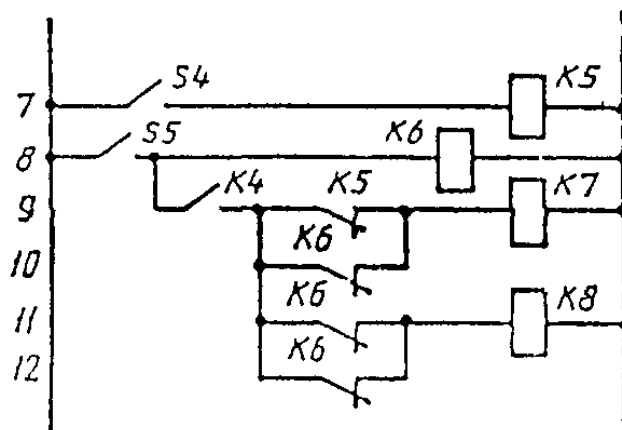


Рис. 4.2. Строчный способ представления релейной схемы автоматики

Электрическая цепь изображается прямой линией, в которую последовательно (частично параллельно) включаются условные графические обозначения элементов или их составных частей. Отдельные цепи изображаются рядом, образуя тем самым параллельные строки. Строки могут быть вертикальными или горизонтальными. Строки не должны иметь изломов и иметь минимальное число пересечений. Так, например, электрическая схема питания обычно выполняется вертикальными строками.

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.

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.

Иногда на схемах показывают такие устройства, как приборы, регуляторы и т.п., имеющие собственные принципиальные схемы. В этом случае на принципиальной схеме эти устройства изображаются упрощенно, т.е. показываются только входные и выходные цепи и цепи подачи питающего напряжения.

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

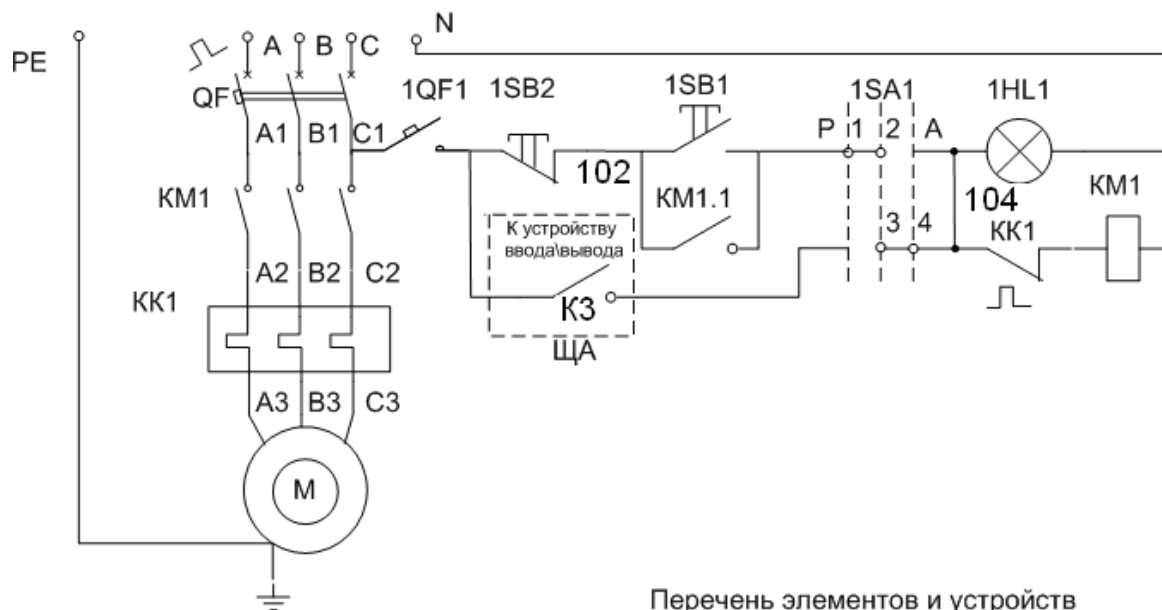
Автоматизация большинства объектов неразрывно связана с управлением технологическими механизмами с электроприводами. Такими механизмами являются насосы, вентиляторы, задвижки, клапаны и т.п., а в качестве электроприводов используются в основном реверсивные и нереверсивные асинхронные электродвигатели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

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

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

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

В качестве примера рассмотрим схему управления электродвигателем насоса (рис. 4.3) и перечень элементов к ней. Здесь на схеме позициями 102 и 104 пронумерованы цепи для облегчения ее чтения и понимания. Все элементы рассматриваемой схемы имеют одно- или двухбуквенные коды. Например, двигатель *M*, контактор *KM1*, переключатель *ISA1*, сигнальная лампочка *IHL1* и т.д.



Перечень элементов и устройств

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
На механизме			
М	Двигатель асинхронный 3ф., тип МДХМА90, 1,5кВт. 1410 мин ⁻¹ , 380В, 3,5А	1	-
На щите местного управления (ЩМУ)			
QF	Выключатель автоматический ТемDin 3С, I=10А; U=380В	1	-
KM1	Контактор типа 11MC6.10 I=6А, U=220В, 1зам.доп контакт	1	-
KK1	Реле тепловое, тип 11RF9.5, I=3-5А	1	-
1QF1	Выключатель автоматический, тип ТемDin 1С, I=1А; U=220В	1	-
1SB1	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ 104.1 размерный контакт, толкатель красного цвета	1	На двери ЩМУ1
1SB2	Кнопка управления, тип 8LM2ТВ 102.1. 1 зам контур, толкатель черного цвета	1	На двери ЩМУ1
1SA1	Переключатель 3-поз, стабильный, тип 8LM2TS130		На двери ЩМУ1
1HL1	Арматура светосигнальная зеленая, тип 8LP2TIL.223.1 с лампой накаливания 220В переменного тока	1	На двери ЩМУ1

Рис. 4.3. Пример принципиальной схемы пуска останова электрического мотора

Как правило, цепи управления электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек запитываются от главных (силовых) цепей. При включении электродвигатели защищают автоматическими выключателями или предохранителями.

По видам защиты автоматические выключатели разделяются на основные типы:

- для защиты от короткого замыкания (с электромагнитным расцепителем);
- для защиты от токов перегрузки (с тепловым расцепителем или с электромагнитным расцепителем с гидравлическим замедлением срабатывания);
- для защиты от токов короткого замыкания и от токов перегрузки (с комбинированным расцепителем – электромагнитным и тепловым или электромагнитным с гидрозамедлением срабатывания);
- с полупроводниковым расцепителем.

Автоматический выключатель может иметь также расцепитель минимального напряжения, расцепитель дистанционного отключения и др.

Электромагнитный расцепитель – электромагнитное реле максимального тока и связанный с ним специальный механизм отключения с пружиной, который воздействует на контакты автоматического выключателя.

Тепловой расцепитель содержит биметаллическую пластину, которая при изгибании под действием электрического тока воздействует на механизм расцепления.

Механизм отключения автоматического выключателя сконструирован на принципе свободного расцепления, которое осуществляет моментное размыкание контактов, независимое от положения ручного органа управления автоматического выключателя (включен/отключен) и скорости его движения при ручном отключении, а также моментное замыкание контактов только под действием ручного органа управления.

Полупроводниковый расцепитель создан на базе полупроводниковых элементов (диодов, тиристоров и т.д.), обладает большой стабильностью срабатывания, удобен (как все электронные устройства) в настройке, осуществляет срабатывание механизма отключения в зоне перегрузки с выдержкой времени, обратнозависимой от тока защищаемой цепи.

Времятоковая характеристика автоматического выключателя представляет собой график с логарифмической системой координат, имеющий две ветви, при этом время срабатывания выключателя находится в зоне, ограниченной этими ветвями.

Для защиты от перегрузки электродвигателей в проекте АС используются:

- в магнитных пускателях тепловые расцепители или гидравлические замедлители срабатывания, встроенные в автоматы, либо тепловые элементы в магнитных пускателях;
- в цепях контрольно-измерительных приборов, регулирующих устройств, трансформаторов, выпрямителей и т.д. пакетные выключатели (рубильник, ключ управления, тумблер) или предохранители;
- в питающих цепях схем производственной сигнализации пакетные выключатели (рубильник, ключ управления, тумблер) или предохранители;
- в цепях освещения щитовых выключатели или предохранители.

Магнитный пускатель выполняет функции дистанционного или автоматического включения и отключения электроприемников различного типа.

В АС магнитный пускатель управляет электродвигателем исполнительного механизма или электроприводом задвижек.

Магнитный пускатель также выполняет функции защиты от перегрузки и понижения напряжения, от самопуска, обеспечивает различного вида блокировки, в т.ч. при реверсировании электропривода. Основной частью магнитного пускателя является контактор. Его катушка обеспечивает защиту от понижения напряжения. Защиту от перегрузки осуществляют тепловые реле, которые могут встраиваться в магнитный пускатель. Блокировка с другими аппаратами осуществляется с помощью блокировочных контактов пускателя, а реверсирование – с помощью реверсных пускателей (последние состоят из двух нормальных пускателей, электрически и механически заблокированных между собой).

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 номером *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*.

В положении *A* переключателя *1SA1* (автоматизированный режим управления) электрический двигатель насоса будет включаться автоматически с помощью контактов реле *K3*, которые управляются ПЛК и показаны в другом месте принципиальной схемы. На это указывает

пунктирная линия вокруг контактов и ссылка на определенный номер листа принципиальной схемы щита управления (*ЩА*).

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

При расположении приборов и аппаратуры на панелях щита (пульта) необходимо учитывать следующие требования (принципы компоновки):

1) функциональный принцип, предусматривающий группирование приборов и органов управления по их функциям или отношению к отдельным управляемым агрегатам;

2) принцип значимости, при котором приборы и органы управления komponуются в зависимости от того, насколько решающими они являются для выполнения тех или иных операций. Наиболее ответственные приборы помещаются в зону щита (пульта), где имеются наилучшие условия для восприятия оператором их показаний;

3) принцип расположения – с учетом конструктивных особенностей отсчетных частей приборов, скорости и точности, с которыми должны читаться их показания;

4) принцип размещения – в соответствии с последовательностью и логикой действий оператора в процессе работы;

5) принцип частоты использования, по которому часто используемые приборы и органы управления помещаются в зонах, наиболее удобных для восприятия.

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

Пример схемы соединений шкафа управления приведен на рис. 4.4.

Принципиальные схемы технологической сигнализации. Обычно они разрабатываются на основе логики релейно-контактных элементов или в логики контроллера типа *Logo*.

По назначению схемы технологической сигнализации делят на следующие группы:

- схемы сигнализации 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.

Пример описания схемы сигнализации (учебное решение)

Для технологической сигнализации АС ХХХ на операторном уровне выбирается схема односторонней светозвуковой сигнализации с вызовом оператора на рабочее место. Алгоритм схемы технологической сигнализации (рис. 4.5) следующий. При отклонении параметра от заданного или сверхдопустимого значения подаются звуковой и световой вызывающие сигналы; звуковой сигнал оператор снимает кнопкой съема звукового сигнала; световой сигнал исчезает при уменьшении отклонения параметра от допустимого значения.

Если контролируемые параметры технологического процесса в норме, то контакты *K1*, *K2* и *K4* разомкнуты: отсутствует световая и звуковая сигнализация (за исключением лампы *HL5*, которая может гореть при включенном насосе). Отклонение любого контролируемого параметра от заданных пределов приводит соответственно к срабатыванию датчика и промежуточного реле (на схеме показаны только его контакты). При срабатывании промежуточного реле один его контакт включает сигнальную лампу, а другой – звуковую сигнализацию. Чтобы отключить звонок *HA*, надо включить реле *K6* ввиду того, что в цепь звонка введен размыкающий контакт именно этого реле. Для этого надо нажать кнопку *SB2*, так как, когда хотя бы один из контактов *K1*, *K2*, *K4* замкнут, питание будет подано на обмотку реле *K6*. При этом размыкается его размыкающий контакт в цепи звонка (звонок отключается) и замыкающий контакт реле *K6* шунтирует кнопку *SB2*, благодаря чему реле остается включенным и после отпускания кнопки. Сигнальные лампы остаются включенными вплоть до нормализации контролируемых параметров. В этом случае все контакты *K1*, *K2* и *K4* должны быть разомкнуты, а, следовательно, обесточивается реле *K6*. Оно снимается с самоблокировки (размыкается его замыкающий контакт), и замыкается его размыкающий контакт в цепи звонка *HA*. Схема опять находится в исходном состоянии.

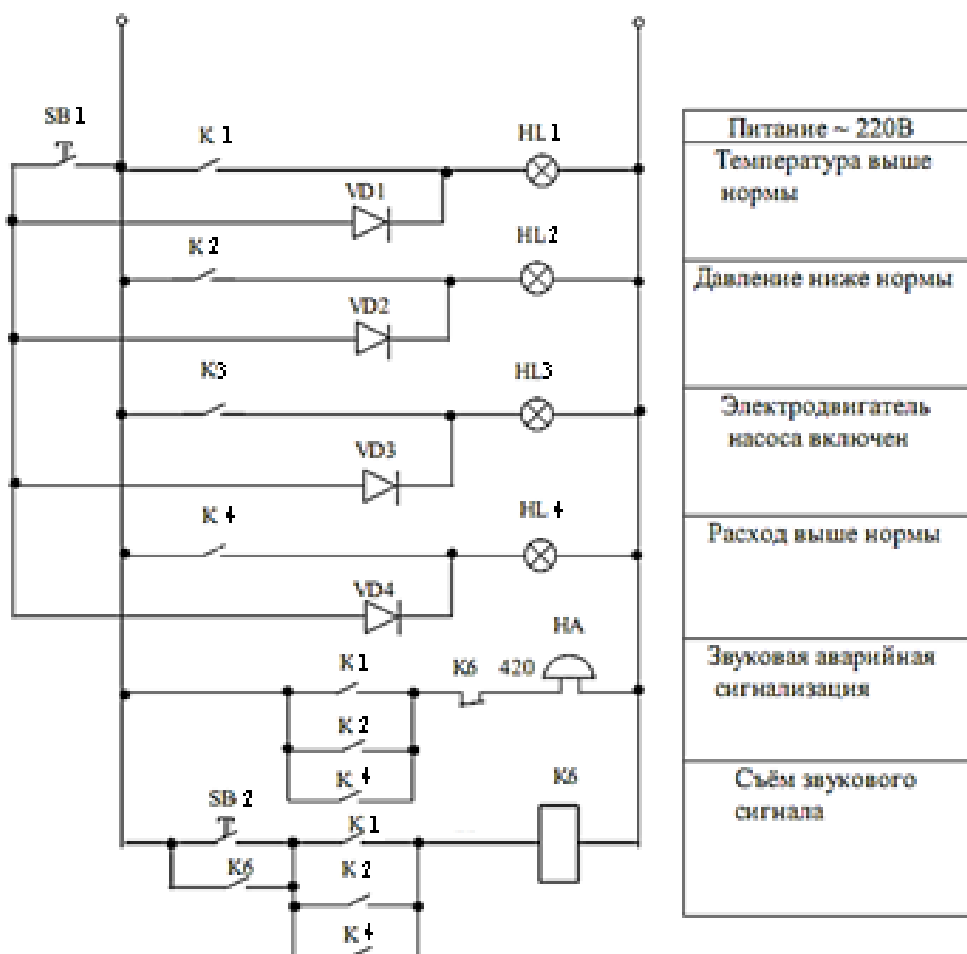


Рис. 4.5. Схема вызова наладочного персонала

Средства автоматизации, вычислительной и информационной техники записываются в разделы спецификации по параметрическим и объектовым группам.

Разработка схем автоматизации сопровождается спецификациями на используемые компоненты АС. Термин *спецификация* в системе проектной документации для строительства означает текстовый проектный документ, определяющий состав оборудования, изделий и материалов, предназначенных для комплектования, подготовки и осуществления строительства (ГОСТ 21.110-95).

В спецификации по данному ГОСТу (п. 4.2) включают все оборудование, изделия и материалы, предусмотренные рабочими чертежами.

Следует отметить, что спецификация является одним из документов, наиболее подверженных изменениям, дополнениям и уточнениям. Поэтому удобно спецификации формировать по разделам (ГОСТ 21.408-93).

Спецификацию, как правило, (п. 4.3 ГОСТа) составляют по разделам (подразделам), состав которых и последовательность записи в них оборудования, изделий и материалов устанавливаются соответствующими стандартами СПДС:

- средства автоматизации (первичные преобразователи, исполнительные устройства, вторичные приборы, комплексы технических средств полевого уровня);

- электроаппараты, в т.ч. блоки питания, нормализаторы, барьеры искробезопасности и др.);

- кабели и провода;

- трубопроводная арматура;

- трубы и трубные блоки;

- монтажные изделия;

- материалы;

- технические средства автоматизации, поставляемые комплектно с оборудованием;

- средства вычислительной и информационной техники (микроконтроллеры, серверы, рабочие станции оператора, табло коллективного пользования и др.);

- технические средства интерфейсов, коммутаторы, повторители и т.д.);

- щиты и пульты. Спецификация щитов и пультов С2, как правило, выполняется в виде отдельного документа.

Спецификация оборудования, изделий и материалов передается заказчику одновременно с основным комплектом рабочих чертежей (п. 4.2.7 ГОСТ 21.101-97) и учитываются в разделе «прилагаемые документы» ведомости общих данных по рабочим чертежам (п. 4.2.5 ГОСТ).

Пример описания раздела разработки принципиальной схемы. Принципиальная схема управления электроприводом приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 08, пример – прил. 9). Его спецификация приведена на схеме. 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.

Задание по разработке принципиальной схемы

В проекте необходимо выбрать способ изображения принципиальной схемы, выбрать исполнительное устройство (например, насос, печь, смеситель или др.) в технологической схеме, в *MS VISIO* нарисовать на формате А4 и описать принципиальную электрическую схему его пуска и останова с указанием наименования выбранных элементов автоматизации. Пример схемы приведен в прил. 10.

4.2. Разработка схемы соединения внешних проводок

Схема соединений внешних проводок (ВП) – это комбинированная схема, на которой изображаются электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом, инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздухопроводах и т.п.), вне щитов и на щитах, а также связи между щитами, пультами, комплексами или отдельными устройствами комплексов. Эта схема показывает соединения составных частей изделия (установки) и определяет провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.). Схематическими соединениями 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.

Подключение отдельных проводников осуществляется с использованием различных клемных устройств. При соединении под винт рекомендуется использовать различные виды наконечников типа «штырь», «вилка» или «ушко» (рис. 4.6), которые опрессовываются на концах проводов.

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 *PM4-106*.



Рис. 4.6. Типовые наконечники проводников КИПиА

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, 4 ПТВ 2×2,5 М; для кабелей – марку, количество и сечение жил и, при необходимости, количество занятых жил, которые

указывают в прямоугольнике, помещаемом справа от обозначения данных 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.

При соединении двух кабелей цифровой передачи информации с разными характеристическими импедансами требуется их тщательное согласование. Например, если пятидесятиомный кабель присоединяется к кабелю с импедансом 300 Ом, между ними должна быть включена специальная резистивная схема, выполненная таким образом, чтобы трехсотомная линия вместе с резисторами «наблюдалась» со стороны пятидесятиомной линии как нагрузка с импедансом в 50 Ом. То же самое условие должно соблюдаться и в обратном направлении, т.е. пятидесятиомная линия должна «ощущаться» другой линией как нагрузка в 300 Ом. Если по обоим проводам двухпроводной линии текут токи, имеющие одинаковые амплитуды, но развернутые на 180° по фазе, говорят, что линия сбалансирована (*balanced*). В несбалансированной (*unbalanced*) цепи ток течет только по одному проводу, а другой является «относительной землей» – проводом с относительным нулевым потенциалом (последнее не исключает того, что по этой линии также протекает ток).

В качестве соединительных кабелей для передачи аналоговых сигналов применяются контрольные кабели. Расстояние, на которое можно передать токовый сигнал, в таком кабеле может быть рассчитан просто.

Пример. Определить расстояние, на которое можно передать сигнал (4-20 мА) с одного датчика, с рабочим напряжением 12 В, запитываемого от источника питания постоянного тока 24 В, на контроллер по двухпроводному каналу, на основе медного провода КВВГ 4x1, 5 (сопротивление 1 жилы длиной 1000м равно 12,6 ом) с прецизионным шунтом для измерения тока в устройстве ввода сигналов контроллера с сопротивлением 250 Ом.

Для того чтобы поддерживать рабочее напряжение на датчике в соответствии с законом Ома должно выполняться соотношение:

$$24 \text{ В} = 12 \text{ В} + 20 \text{ мА} (250 \text{ Ом} + 2 \cdot 12,6 \cdot x).$$

Следовательно, расстояние передачи ограничивается 27,8 км. Однако, в случае множества каналов измерения, с одним источником питания это расстояние может значительно уменьшится.

В качестве соединительных кабелей для цифровой передачи используются в основном два типа электрических проводников – витая пара и коаксиальный кабель. Как показывает название, витая пара

(*twistedpair*) состоит из двух изолированных медных проводов, свитых вместе. Витая пара является дешевой и простой средой передачи. Широкое распространение витой пары и коаксиального кабеля в телефонных и телевизионных сетях привело к тому, что эти кабели и их вспомогательные элементы – разъемы и штекеры – имеют достаточно низкую цену. Электрическая цепь на основе витой пары может быть сбалансированной и несбалансированной. Преимущество сбалансированной цепи в том, что она менее чувствительна к внешним возмущениям; наоборот, эта цепь излучает меньшую энергию, поскольку электромагнитные поля отдельных проводников компенсируют друг друга, так как имеют одинаковую интенсивность, но противоположную полярность. С другой стороны, сбалансированная линия является таковой только тогда, когда она правильно смонтирована и обслуживается. Несбалансированная витая пара значительно более чувствительна к возмущениям, чем сбалансированная, но не требует почти никаких усилий для установки и эксплуатации. Четырехпарный кабель еще менее чувствителен к помехам индуктивного характера.

Коаксиальные кабели (*coax cable*) содержат электрический проводник, изолированный пластиковой оболочкой, которая окружена проводящим плетеным экраном. Благодаря такой геометрии коаксиальный кабель существенно несбалансирован. Экран заземлен и предотвращает рассеивание энергии с центрального проводника, которое на высоких частотах является весьма заметным возмущающим фактором. И наоборот, экран предохраняет центральный проводник от влияния внешних возмущений. Коаксиальные кабели различаются по величине их распределенного импеданса: обычные значения – 50 Ом и 75 Ом.

Кабели 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 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 т.ч. 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 изображении размещают таблицу с поясняющими надписями в соответствии с рис. 4.8.

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.

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

Рис. 4.8. Пример части таблицы в схеме внешних проводок

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; рис. 4.9).

B1 – короба и кабельнесущие каналы для поддержки и защиты проводов (одножильные кабели);

B2 – то же, что *B1*, но с многожильными кабелями;

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

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

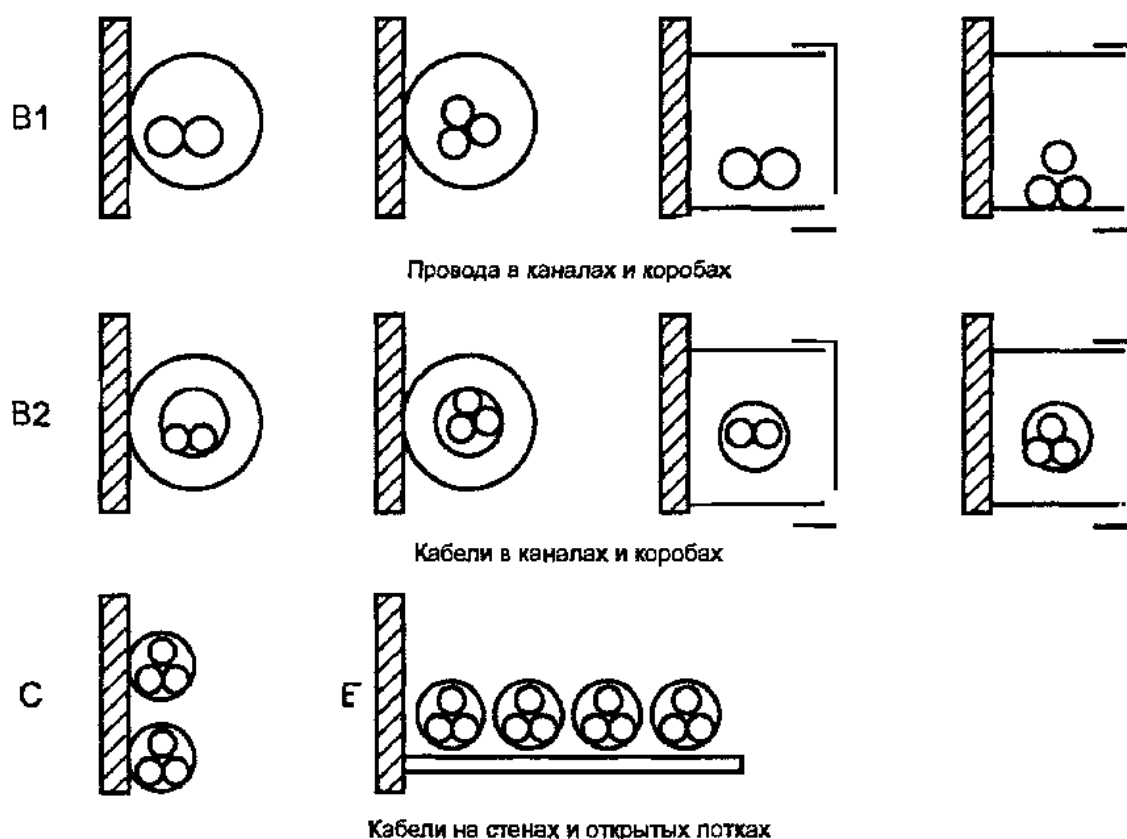


Рис. 4.9. Методы укладки кабелей и проводов

Для преобразователей (термоэлектрических, термопреобразователей сопротивления), а также для пневматических исполнительных механизмов применяют графические условные обозначения, принятые для этих приборов на схемах автоматизации. В нижней части формата располагают внешние приборы, щиты и другие технические средства. В случае принятых проектных решений на щите показывается *DIN*-рейка с контактной группой (рис. 4.10).

Наименован.	Давление		Перепад давления	
	Входной трубопровод	Выходной трубопровод	Фильтр	Выходной трубопровод
Место установки	Метран 150 TG1	Метран 150 CG4	Метран 150 CD2	ТСМТ 101
Тип устройства	1	2	3	4
Индекс	1	2	3	4

РЕ

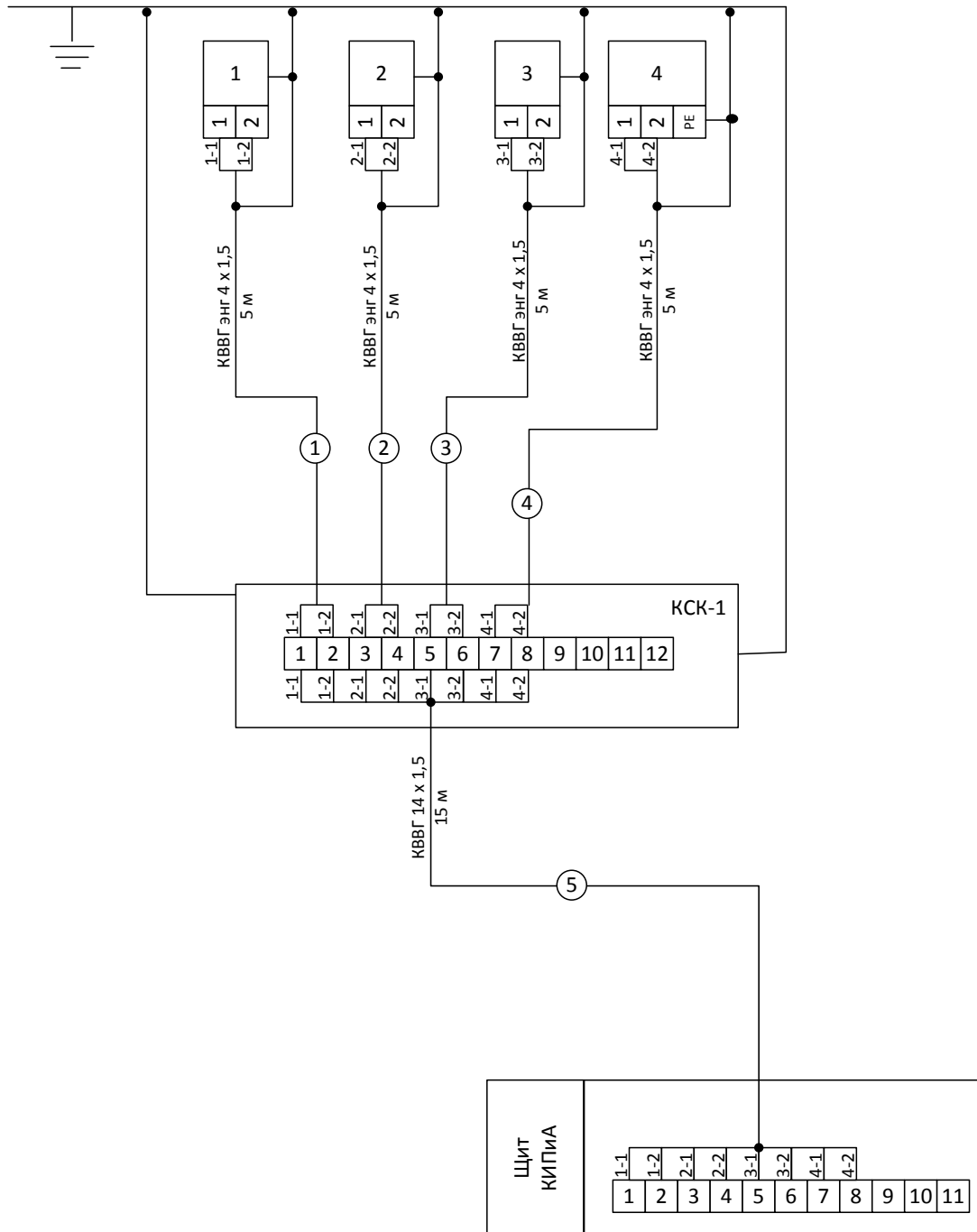


Рис. 4.10. Фрагмент схемы внешних проводов

Вблизи высоковольтных установок в кабелях КИПиА могут наводиться напряжения в сотни вольт. Для снижения величины наводимого напряжения используют экранированные кабели, экраны которых заземляют с обеих сторон кабеля. Для защиты от магнитного поля молнии сигнальные кабели, проходящие по открытой местности, должны быть проложены в металлических трубах из ферромагнитного материала (*нержавеющая сталь не является ферромагнитным материалом, ее использовать для этих целей нельзя*). Радикальным решением может быть использование оптоволоконного кабеля.

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

- изображения устройств, к которым подключают проводки (например, *DIN*-рейку, колодки щитовых приборов);
- подключение к ним жил кабелей, проводов и труб, и их обозначения;
- отрезки кабелей, труб в соответствии со схемой 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 (рис. 4.11) и внешней проводки коммуникационного шкафа. Здесь (на рис. 4.11) показана внешняя проводка для схемы управления двигателем (рис. 4.4).

Номера проводок указывают в окружностях, помещаемых в разрыве линий. Подвод питания осуществляется от электросети кабелем № 1 марки ВВГ, пятижильным, сечением $1,5 \text{ мм}^2$, проложенным в пластмассовой трубе длиной 5 м. Электродвигатель М связан со щитом местного управления ЩМУ1 кабелем ПВ $4 \times 1,5$ (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.

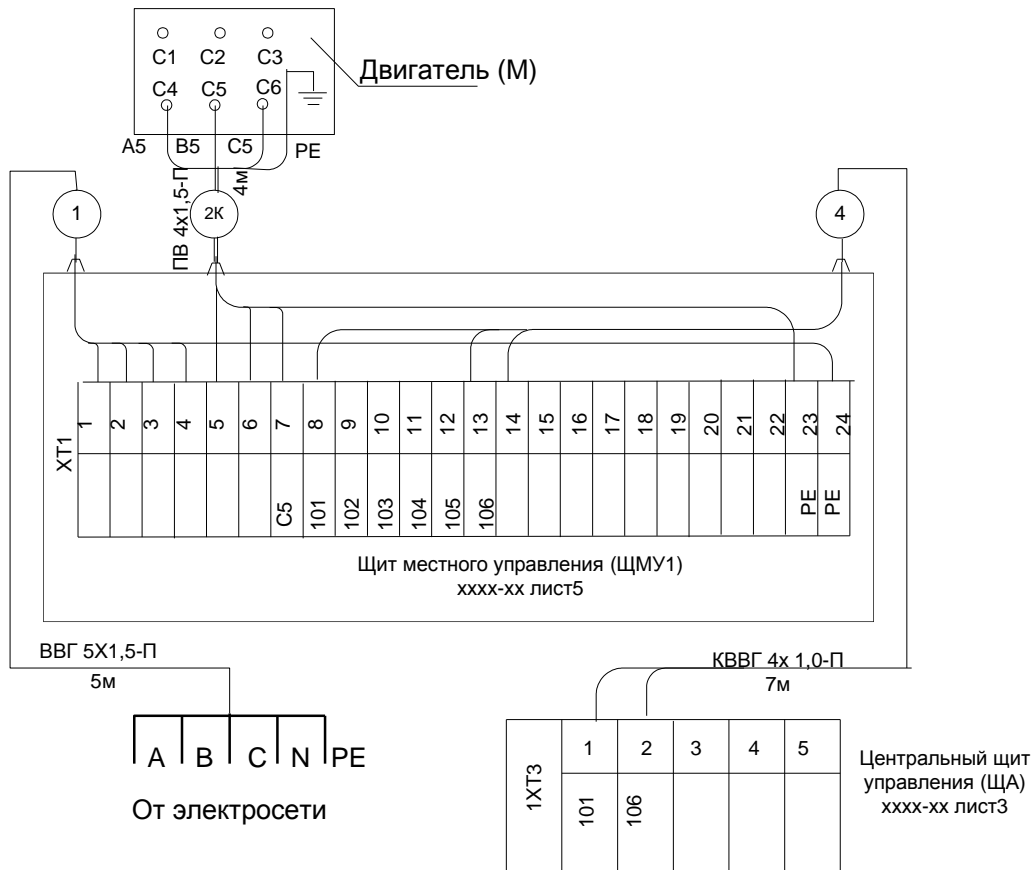


Рис. 4.11. Пример схемы подключения внешних проводов силового электропитания насоса полевого уровня АС

Пример описания раздела разработки схемы внешней проводки

Схема внешней проводки приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 05, пример – прил. 11). 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 в прил. 11. 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 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 ПЗ, согласно ГОСТ Р 21.408 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 прил. 13. В ПЗ необходимо привести обоснование способа проводки кабеля.

4.3. Разработка электрических схем питания АС

Систему электропитания средств автоматизации можно рассматривать как своего рода небольшую систему электроснабжения. Ее электроприемниками являются различные приборы, аппараты, регулирующие устройства, электроприводы исполнительных механизмов, задвижек, вентилях и т.п.

От надежного электропитания этих электроприемников, устанавливаемых на щитах и пультах систем автоматизации и рассредоточенных по всему автоматизируемому объекту, зависит нормальная работа объекта (технологического процесса) в целом. В отдельных случаях перерыв в электропитании систем автоматизации может привести к аварийным условиям, граничащим с взрывом и др.

Система электропитания должна обеспечить необходимую надежность (бесперебойность) питания, соответствующее качество электроэнергии (допустимые отклонения и колебания напряжения, не синусоидальность формы кривой, пульсацию напряжения), экономичность, удобство и безопасность обслуживания. Выбор схемы электропитания, рода тока, напряжения, аппаратов защиты и управления должен производиться с учетом принятых аппаратных и схемных решений в АС.

Выбор напряжения распределительной подстанции. При выборе схем электропитания АС следует учитывать особенности электропотребления (электроснабжения) предприятия. Для распределения электрической энергии на современных промышленных предприятиях наибольшее распространение получили четырехпроводные системы трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В с глухим заземлением нейтрали, а также пятипроводные системы соответствующие

требованиям международных стандартов. На действующих предприятиях встречаются так же четырехпроводные системы трехфазного переменного тока с глухим заземлением нейтрали напряжением 220/127 В.

На отдельных промышленных объектах находят применение трехпроводные трехфазные системы переменного тока с изолированной нейтралью напряжением 380 и 500 В. В ряде случаев применяется трехфазная система переменного тока напряжением 660 В. На некоторых предприятиях для питания потребителей постоянного тока (электролизные установки и т.д.) имеются источники и сети постоянного тока различных напряжений. В отдельных случаях на промышленных объектах выполняются стационарные двухпроводные сети переменного тока напряжением 42 В для питания переносного освещения и электрифицированного инструмента.

Системы трехфазного переменного тока 380/220 В с глухозаземленной нейтралью, 380 В с изолированной нейтралью и постоянного тока 110 и 220 В могут использоваться для питания стационарно установленных приборов, аппаратов и других средств автоматизации переменного и постоянного тока в помещениях всех категорий опасности в отношении поражения людей электрическим током.

Если для электроснабжения автоматизируемого объекта заказчиком проекта АС используется трехфазный переменный ток 660 В, то питание однофазных и трехфазных электроприемников системы электропитания приборов и средств автоматизации должно осуществляться через понижающие однофазные или трехфазные трансформаторы.

На технологических площадках НГО в качестве источников питания приборов и средств автоматизации используются отдельные распределительные подстанции, распределительные щиты, питающие сборки системы электроснабжения автоматизируемого объекта. К этим источникам электропитания АС стремятся не подключать крупные электродвигатели, электропечи и т.п.

В отдельных случаях, например, при трудности использования силовой сети, допускается для ответственных установок присоединять системы электропитания к осветительной сети (щитам освещения) автоматизируемого объекта, если питание электрического освещения производится от общих с силовой нагрузкой трансформаторов и возможно хотя бы кратковременное исчезновение напряжения в сети освещения.

Источник питания КИПиА системы должен иметь достаточную мощность и обеспечивать требуемое напряжение у электроприемников. Отклонение напряжения на шинах источника питания не должно превышать значений, при которых обеспечивается нормальная работа наиболее удаленных или наиболее чувствительных к отклонениям

напряжения электроприемников в возможных наихудших для системы электроснабжения автоматизируемого объекта нагрузочных режимах.

Выбор схемы электропитания приборов и средств автоматизации определяется главным образом требуемой бесперебойностью электроснабжения, территориальным расположением источников питания и электроприемников, сопротивлением нагрузки, удобством и безопасностью эксплуатации. Оценка и окончательный выбор схемы производится по совокупности всех требований с учетом конкретных условий работы автоматизируемого объекта.

При построении схем электропитания необходимо учитывать, что сосредоточенно установленные (например, на щитах) (прил. 19) и отдельно стоящие электроприемники должны, как правило, получать питание от специальных шкафов КИПиА и сборок питания (последние используются для электроприводов задвижек или вентиляей), на которых размещается аппаратура управления и защиты всех присоединений системы электропитания. Шкафы и сборки питания должны располагаться с максимальным приближением к питаемым группам электроприемников.

Если число электроприемников ограничено и нецелесообразно предусматривать специальный шкаф питания, то аппаратура управления и защиты системы электропитания устанавливается на приборных или релейных щитах (шкафах); для электропривошкаф автошкаф амдов задвижек (вентилей) и в этом случае целесообразно предусматривать отдельные сборки питания.

В схемах электропитания систем автоматизации (рис. 4.12) различают два основных уровня:

1) питающую сеть (питающие линии) – сеть от источников питания до щитов (шкафов) и сборок питания;

2) распределительную сеть – сеть от щитов (шкафов) и сборок питания до электроприемников; к распределительной сети относятся также цепи всех назначений, связывающие первичные приборы и датчики с вторичными приборами и регулирующими устройствами.

Схема распределительной сети, как правило, строится по радиальному принципу, т.е. каждый электроприемник подключается к щиту (шкафу) или сборке питания отдельной радиальной линией. При установке в системе электропитания КИПиА аппаратуры управления и защиты применяются следующие их сочетания: в питающих линиях – автомат; рубильник – предохранители; в цепях электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (клапанов) – автомат – магнитный пускатель; рубильник – предохранители – магнитный пускатель.

Схема распределительной сети показана на рис. 4.13.

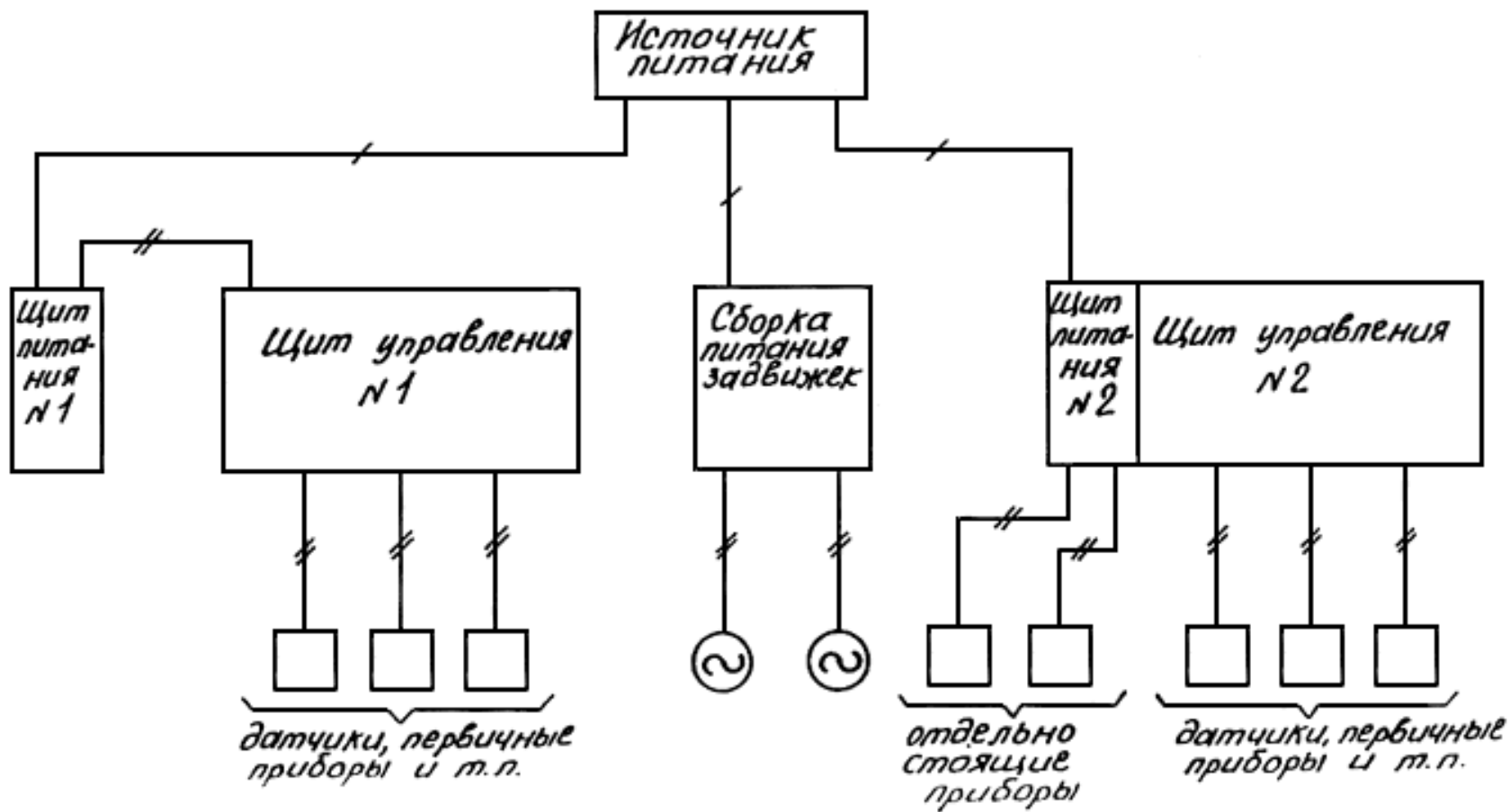


Рис. 4.12. Схема электропитания

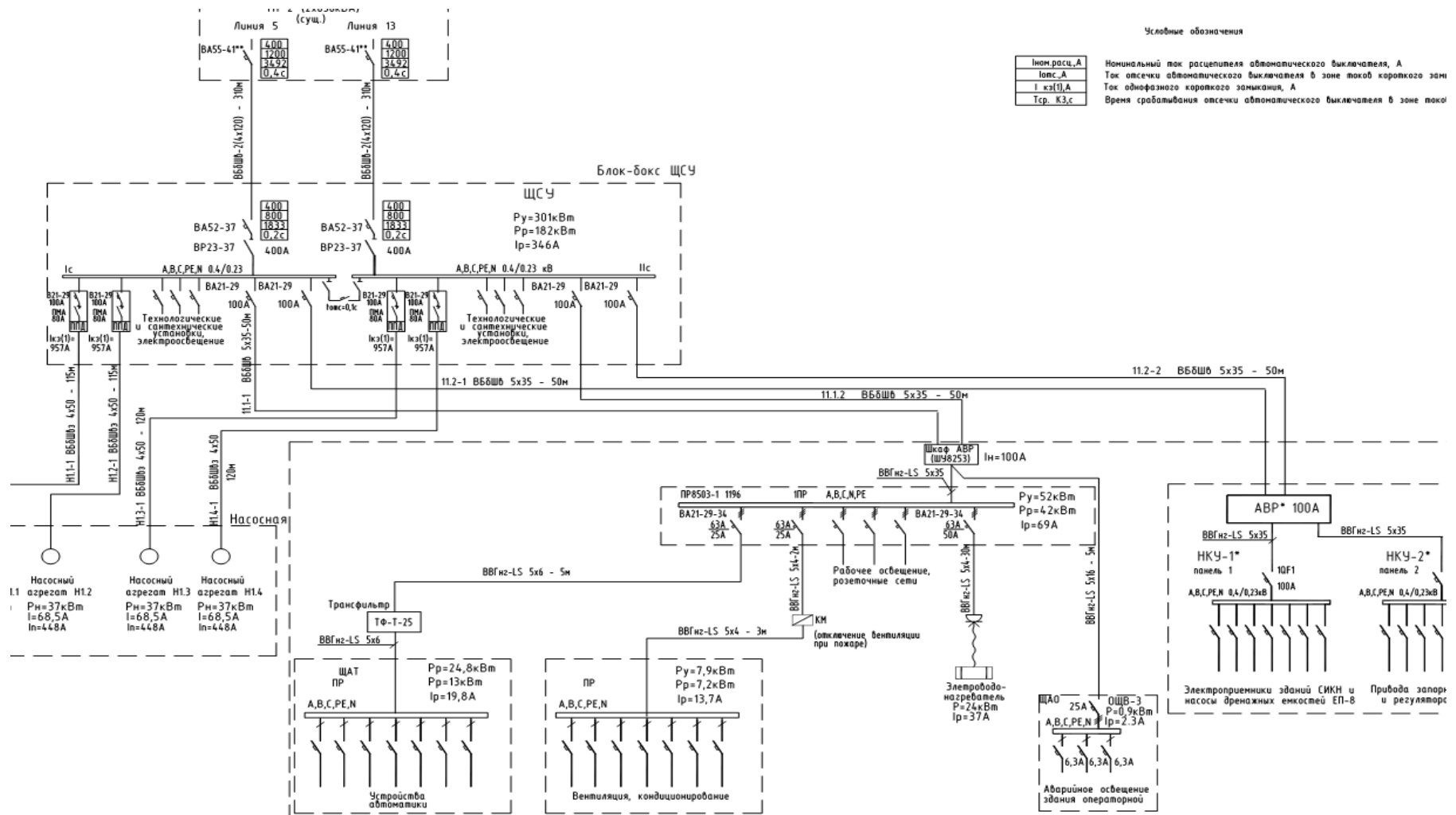


Рис. 4.13. Электрическая схема

Различают следующие виды распределительных электрических схем:

- *электрическая цепь измерения параметра* – это электрическая цепь передачи электрического сигнала, пропорционального величине измеряемого параметра технологического процесса;

- *электрическая цепь контроля параметра* – это электрическая цепь передачи дискретного электрического сигнала о достижении измеряемым параметром определенного значения или об изменении положения элемента, который контролирует состояние аппарата или устройства;

- *электрическая цепь сигнализации* – это электрическая цепь светового и/или звукового сигнала, полученного из цепей контроля параметра, цепей защиты, управления, регулирования;

- *электрическая цепь защиты* – это электрическая цепь с установленным в ней устройством (аппаратом) защиты, которое служит для безусловного автоматического отключения или включения данной электрической цепи при возникновении аварийной ситуации в технологическом или электрическом оборудовании;

- *электрическая цепь блокировки* – это электрическая цепь с установленными в ней элементами, которые предотвращают или ограничивают выполнение операций в одной из цепей управления, регулирования, сигнализации в целях предупреждения возникновения в этой цепи недопустимых состояний при определенных состояниях или положениях элементов в другой электрической цепи;

- *электрическая цепь управления* – электрическая цепь, по которой передаются сигналы включения/отключения электрооборудования, электроприемника.

- *электрическая цепь регулирования* – это электрическая цепь управления, предназначенная для автоматического поддержания заданной величины параметра путем выявления и устранения отклонений величины параметра либо путем изменения параметра по заданной программе;

- *электрическая цепь питания АС* – это электрическая цепь, предназначенная для обеспечения электроэнергией электрооборудования, электроприемников и технических средств АС.

Аппараты управления и защиты устанавливаются во всех линиях и присоединениях питающей и распределительной сети в нормально незаземленных фазных проводниках. При питании от системы с глухозаземленной нейтралью в двухпроводных цепях вторичного напряжения понижающих трансформаторов, вторичных цепях выпрямителей допускается ограничиваться установкой аппаратов управления и защиты в заземляющих проводниках всех видов. Аппараты управления могут уста-

навливаться в нулевых проводниках, в т.ч. и при использовании их в качестве заземляющих, если они одновременно отключают все фазные провода. При управлении электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводов – задвижек (клапанов) из нескольких мест должны предусматриваться ключи выбора пуска электродвигателей из нескольких мест. Сечения проводников питающей и распределительной сетей системы электропитания КИПиА должны выбираться по условиям нагревания электрическим током и механической прочности с последующей проверкой по потере напряжения.

Схемы питания выполняются отдельно для питающей и распределительной сетей. Схему питающей сети рекомендуется выполнять в однолинейном изображении, а распределительной – в многолинейном. Схема распределительной сети выполняется по принципу изображения отдельных принципиальных схем щитов питания и должна составляться для каждого шкафа питания отдельно.

Всем аппаратам схем питающей и распределительной сети присваиваются буквенно-цифровые обозначения, составленные из букв и порядкового номера, проставленного после нее. На схеме питающей сети показываются аппараты управления и защиты, устанавливаемые как со стороны источника питания, так и со стороны щитов питания системы автоматизации, а также электрические связи между ними.

На схеме распределительной сети показываются: аппараты управления (рубильники, выключатели, переключатели); аппараты защиты (автоматы, предохранители); преобразователи (выпрямители, трансформаторы, стабилизаторы и т.п.); лампы освещения, штепсельные розетки, схемы автоматического ввода резерва (АВР) и линии электрической связи между аппаратами.

Жилы кабелей (проводов) питающей сети, а также сборные шины на щите (в шкафу) питания маркируются последовательными числами с добавлением перед цифровой частью буквы *A*, *B*, *C*, характеризующей фазу, или цифры 0, характеризующей нулевой провод. При маркировке схем рекомендуется цепям питания присваивать группы цифр от 801 до 999. Допускается не маркировать участки цепей между выключателями и предохранителями, если они устанавливаются в пределах одного щита питания.

В нижней части схемы распределительной сети помещается таблица, в которой перечисляются все электроприемники, питающиеся от данного щита питания, с указанием их позиций по заказным спецификациям, потребляемой мощности, напряжению и места установки. Основные характеристики аппаратов схемы питания записываются в перечень, который оформляется в виде таблицы, заполняемой сверху вниз.

В перечне аппаратуры указываются ее позиции по заказной спецификации, обозначение по схеме питания, наименование, тип, количество и техническая характеристика.

Среди ограничений, налагаемых на разработку электрических схем АС, выделяют следующие:

- вид (тип) проекта АС;
- особенности эксплуатации и режима работы АС;
- особенности системы электропитания на проектируемом объекте управления;
- места установки элементов электросхем (щиты, помещения, наружные установки);
- взрыво- и пожароопасность помещений и наружных установок, в которых предполагается применение отдельных элементов АС;
- корпоративные (отраслевые) ограничения по использованию средств автоматизации (датчиков, преобразователей, вторичных приборов, исполнительных механизмов, контроллеров, сигнальной и управляющей аппаратуры, релейно-контактной аппаратуры, диодов, транзисторов, источников питания и т.д.);
- проектом определенная сеть передачи данных, вид кабельной продукции.

Электрическая схема. С учетом наложенных ограничений принципиальная электрическая схема обеспечивает:

- безопасность работы технологического объекта управления;
- удобство применения предложенных схемой решений;
- безопасность обслуживания элементов электрической схемы;
- внутрисхемную защищенность против ложных срабатываний;
- сокращение электропотребления и времени нахождения отдельных элементов схемы под напряжением;
- сокращение числа элементов в схеме и ограничение их номенклатуры;
- предотвращение развития аварийных ситуаций в электрических цепях.

Электрическую схему разрешается выполнять на нескольких листах. При этом каждая схема оформляется как самостоятельный документ. В наименовании таких документов следует указывать наименование схемы и название функциональной группы или функциональной цепи [например, схема электрическая принципиальная питания ПЛК (4)]. К коду схемы в обозначении добавляется через точку порядковый номер, выполненный арабскими цифрами (ЭЗ.1, ЭЗ.2 и т.д.).

На схеме изображаются все электрические элементы и устройства, необходимые для выполнения функциональной задачи и осуществляю-

щие электрические процессы, а также электрические связи между ними и входные/выходные элементы электрических цепей. При выборе схем электропитания важное значение имеет правильное определение необходимой степени резервирования, что в большей мере определяет надежность (бесперебойность) питания электроприемников системы электропитания.

Надежность (бесперебойность) электроснабжения системы автоматизации должна соответствовать (быть не ниже) надежности электроснабжения автоматизируемого объекта (агрегата, установки, цеха и т.п.) в целом. Это означает, что электроприемники систем автоматизации в отношении надежности питания приравниваются к основным электроприемникам автоматизируемого объекта.

При разработке электрических схем следует придерживаться следующего порядка обозначения отдельных участков цепей:

1) цепи переменного тока обозначают: $L1, L2, L3...$ с добавлением последовательных чисел. Например, участки цепи первой фазы $L1$: $L11, L12$ и т.д.; участки цепи второй фазы $L2$: $L21, L22$ и т.д.; участки цепи третьей фазы $L3$: $L31, L32$ и т.д. Допускается, если это не вызывает ошибочного подключения, обозначать фазы цепей переменного тока буквами A, B, C ;

2) силовые цепи постоянного тока обозначают нечетными числами – участки цепей положительной полярности, четными – участки цепей отрицательной полярности; входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности: плюс « $L+$ » и минус « $L-$ ». Допускается применять только знаки « $+$ » или « $-$ ». Средний проводник обозначают буквой M . Допускается также обозначать силовые цепи постоянного тока последовательными числами;

3) цепи управления, защиты, сигнализации, автоматики, измерения обозначают последовательными числами в пределах изделия или установки.

Допускается перед обозначениями проставлять обозначения, характеризующие функциональное назначение цепи. В этом случае последовательность чисел допускается устанавливать в пределах функциональной цепи. При необходимости перед обозначениями цепей управления, защиты, сигнализации и измерения можно проставлять обозначение фаз переменного тока A, B, C . Допускается в однофазных (фаза – нуль, фаза – фаза) схемах переменного тока участки цепей обозначать четными и нечетными числами.

На электрических схемах обозначения, как правило, проставляются: при горизонтальном расположении цепей – над участком проводника, при вертикальном расположении цепей – справа от участка провод-

ника. В технически обоснованных случаях допускается проставлять обозначения под изображением цепи.

Чтение принципиальных электрических схем и особенно эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения (рис. 4.14).

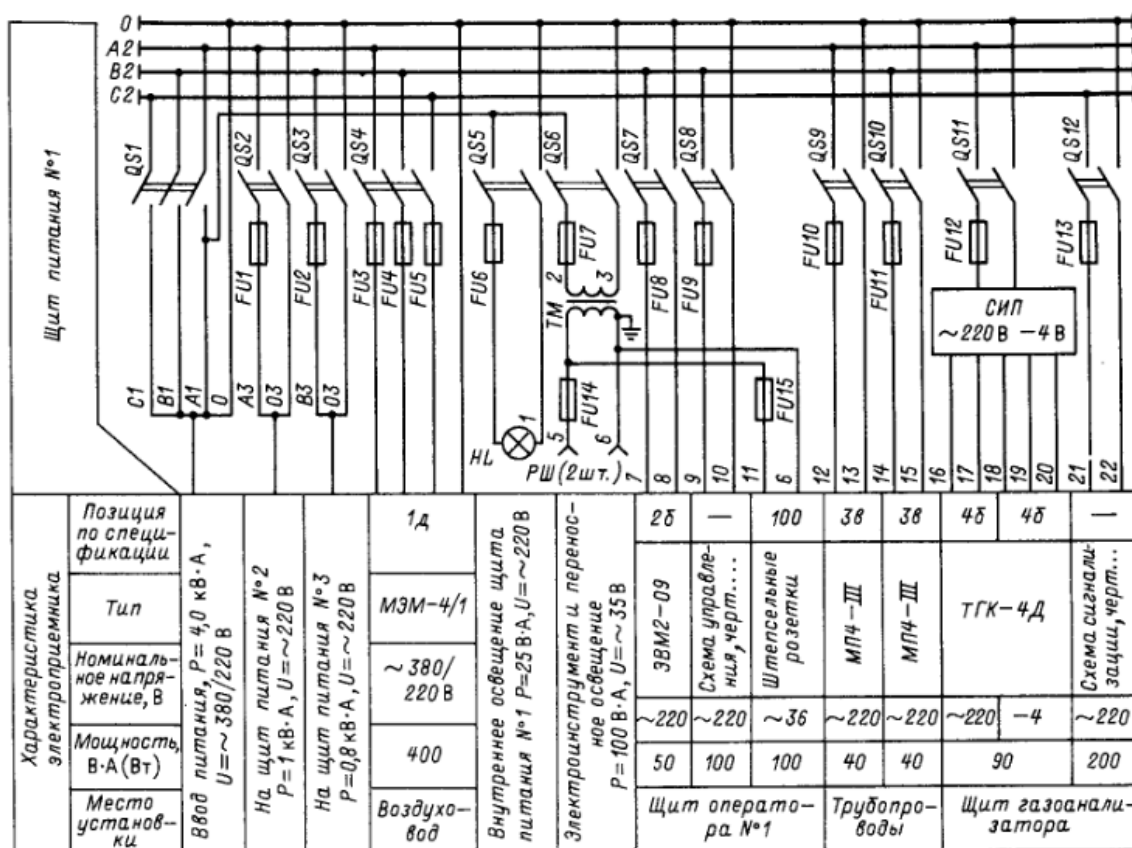


Рис. 4.14. Схема распределительной сети

Система заземлений. Для всех типов распределительных цепей должна быть предусмотрена система заземлений. Система заземлений выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.1-2009 (МЭК 60364-1) (прил. 20).

Различают следующие разновидности систем заземлений с аббревиатурой букв, которые расшифровываются как

T (*terre*, земля) – заземлено;

N (*neuter*, нейтраль) – присоединено к нейтрали источника (занулено);

I (*isole*, изолировано);

S (*separated*, раздельный);

C (*combined*, объединённый):

1. Система *TN* (подсистемы *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*).
2. Система *TT*. датчик
3. Система *IT*.

Первая буква указывает на характер заземления источника питания, вторая – на характер заземления открытых частей электрических установок АС.

В ГОСТ введены обозначения нулевых проводников:

N – нулевой рабочий проводник;

PE – нулевой защитный проводник;

PEN – совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник заземления.

Система заземления *IT*, больше известная в России как «электроустановка с изолированной нейтралью» (рис. 4.15), предназначена для защиты человека, электрооборудования и линий электропередач от воздействия межфазного замыкания во время работы с большими токами.

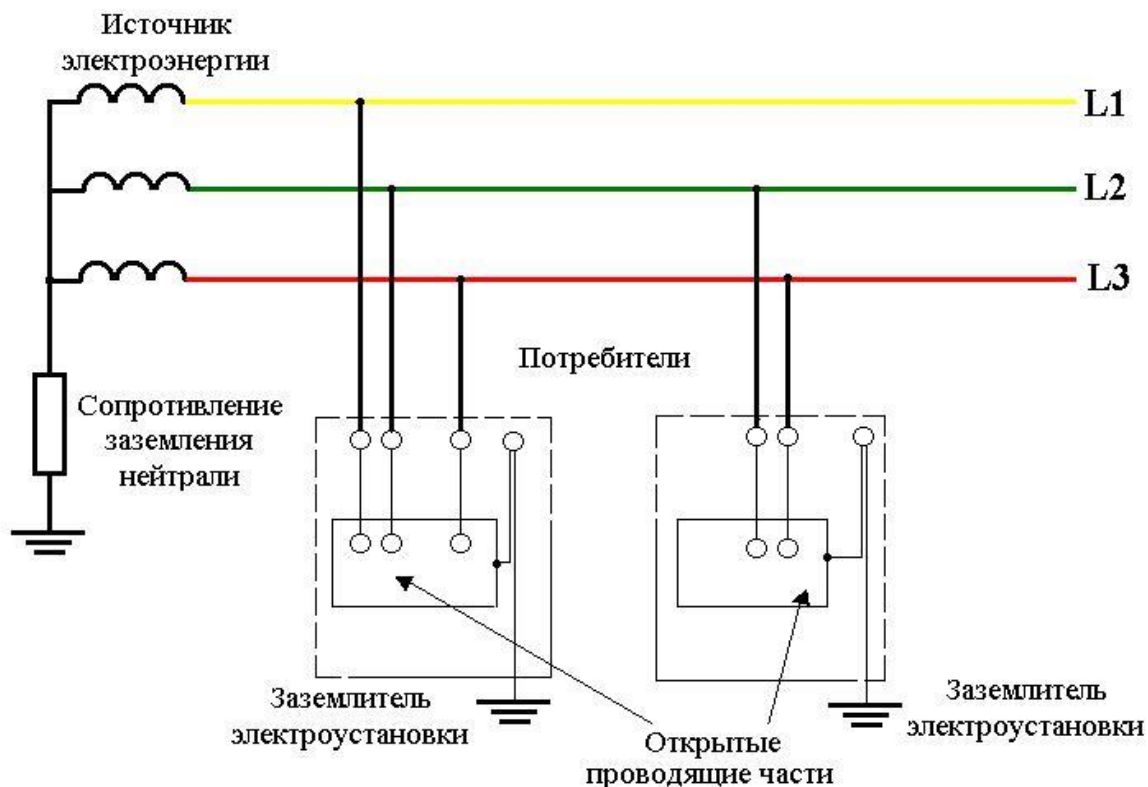


Рис. 4.15. Схема *IT*-заземления

В системе заземления *IT* нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены. Ток утечки на металлические корпуса или на землю в этой системе будет низким и не влияет на условия работы присоединенного электрообору-

дования. Поэтому, такой вид заземления получил наибольшее распространение в предприятиях энергоснабжения, а также в газовой, нефтяной и химической промышленности, где есть угроза воспламенения горючих веществ от используемого электрооборудования. Иначе говоря, система заземления «IT» исключает немедленное отключение при пробое на «землю» и возникновение дуги при непредвиденном соприкосновении токоведущих проводников между собой, а также предохраняет от появления шагового напряжения очень большой силы, даже на короткий промежуток времени.

Система заземления *TN-S* – это система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении. В системе *TN-S* нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно по всей системе (рис. 4.16).

Достоинства подсистемы *TN-S* – это наиболее современная и безопасная система заземления. Она рекомендуется при разработке новых проектов АС. *TN-S*-система заземления способствует хорошей защите человека, оборудования, а также защите зданий.

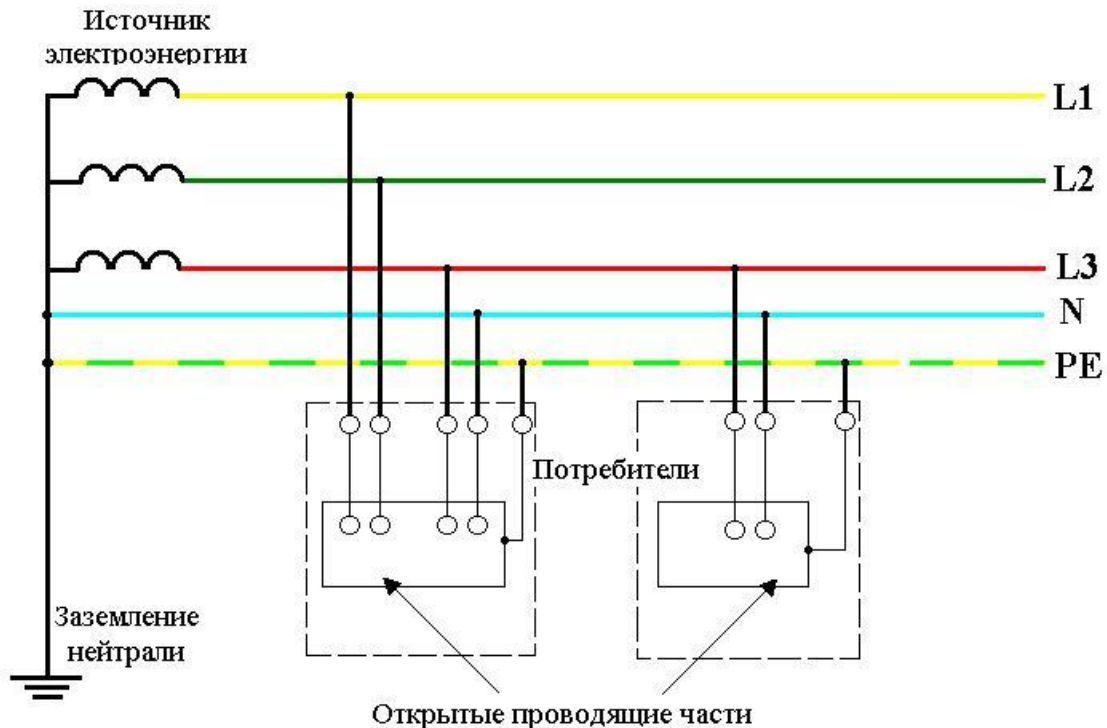


Рис. 4.16. Схема *TN-S*-заземления

Система *TN-C* – это система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении; при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается *PEN*. Это схема устаревшая и в настоящее время заменяется схемой *TN-S*.

Система *TN-C-S* – это система *TN*, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника электроэнергии (рис. 4.18).

Достоинствами схемы является более простое устройство молниезащиты (невозможно появление пика напряжения между *PE* и *N*), возможность защиты от короткого замыкания фазы на корпус прибора с помощью обыкновенных «автоматов».

Недостатки являются слабая защищенность от разрушения *PEN* по пути от комплексной трансформаторной подстанции к точке разделения. В этом случае на шине *PE* со стороны потребителя появляется фазное напряжение, которое не может быть отключено никакой автоматикой (*PE* не подлежит отключению). Если внутри здания защитой от этого служит СУП (под напряжением оказывается все металлическое, и нет риска поражения током при прикосновении к 2 разным предметам), то на открытом воздухе никакой защиты от этого не существует вовсе.

В соответствии с ПУЭ она является основной и рекомендуемой системой, но требуется соблюдение ряда мер по недопущению разрушения *PEN* – механической защиты *PEN*, а также повторных заземлений *PEN* воздушной линии по столбам через какое-то расстояние (не более 200 метров для районов с числом грозových часов в году до 40, 100 метров для районов с числом грозových часов в году более 40).

В случае, когда эти меры соблюсти невозможно, ПУЭ рекомендуют схему *TT*.

Система заземления *TT* – это система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 4.17).

Достоинствами схемы является высокая устойчивость к разрушению *N* по пути от ТП к потребителю. Это разрушение никак не влияет на *PE*. Недостатками являются требования более сложной молниезащиты (возможность появления пика между *N* и *PE*), а также невозможность для обычного автоматического выключателя отследить короткое замыкание фазы на корпус прибора (и далее на *PE*). Это происходит из-за довольно заметного (30–40 Ом) сопротивления местного заземления.

В силу вышеперечисленного ПУЭ рекомендуют *TT* только как «дополнительную» систему (при условии, что подводящая линия не удовлетворяет требованиям *TN-C-S* по повторному заземлению и механической защите *PEN*), а также в установках на открытом воздухе, где есть риск

одновременного соприкосновения с установкой и с физической землей (или же физически заземленными металлическими элементами).

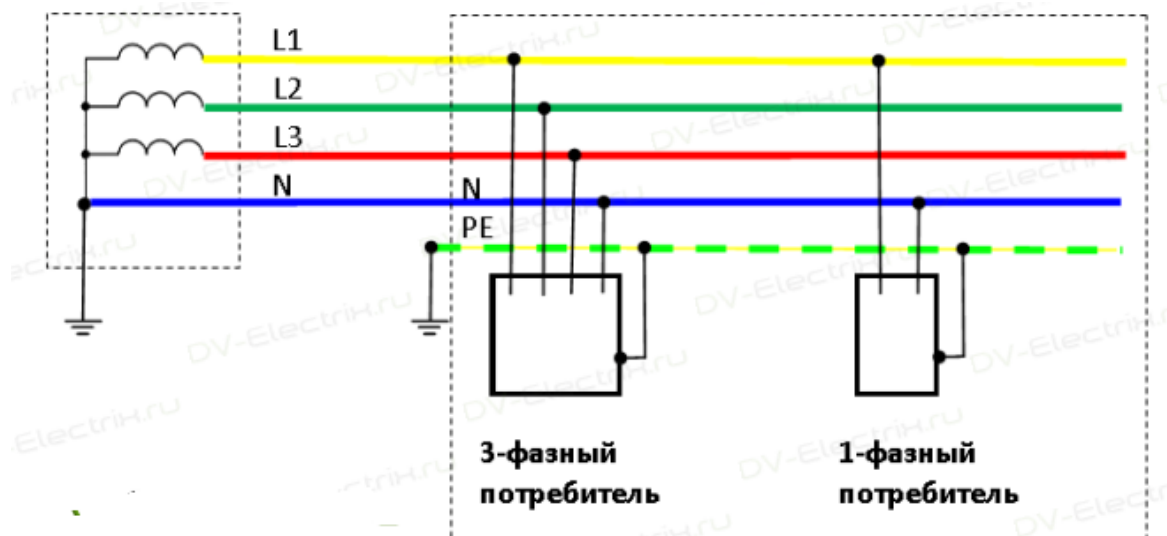


Рис. 4.17. Схема заземления *TT*

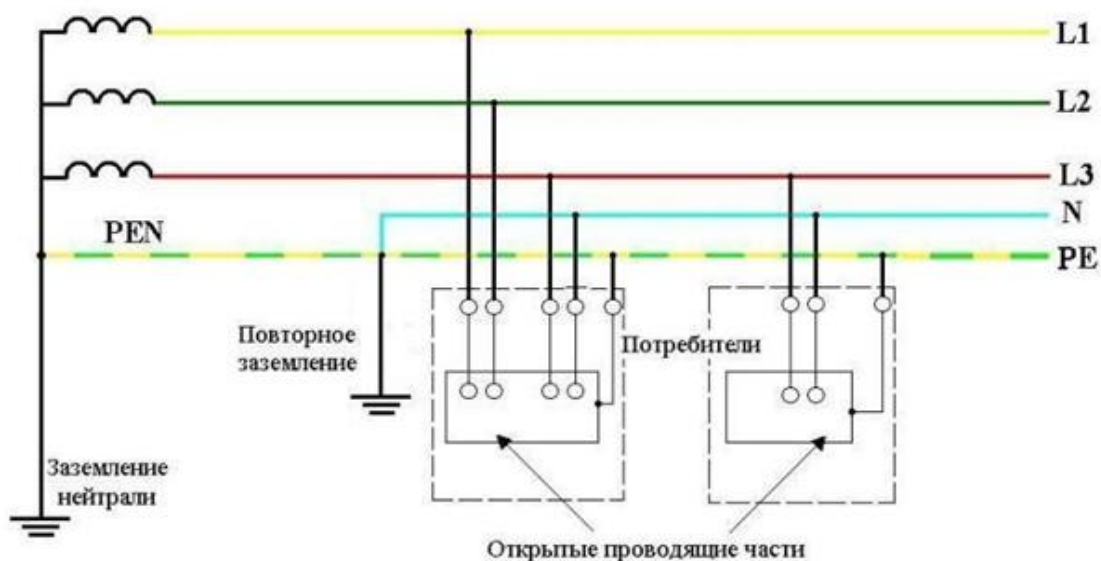


Рис. 4.18. Схема заземления *TN-C-S*

Заземление представляет собой физическое присоединение электрических цепей к общему потенциалу. И защитное, и сигнальное заземление устанавливают общее требование по созданию точки общего нулевого потенциала. Теоретически все точки, которые должны быть заземлены, присоединяются к этому нулевому потенциалу без каких-либо сопротивлений или индуктивностей. Однако, на практике это невыполнимо. Следствием неправильного заземления могут быть непредсказуемо появляющиеся сбои в работе систем автоматики, повышенная

погрешность измерений, выход из строя чувствительных элементов, замедление работы коммуникационной системы из-за появления потока ошибок в каналах цифрового обмена, нестабильность регулируемых параметров, появление ошибок в собираемых данных. Проблемы, связанные с низким качеством заземления, являются наиболее распространенными, и именно их труднее всего обнаружить.

В сложных системах АС используются отдельные заземления для датчиков, кабелей, компьютерного оборудования, силовых элементов и шасси аппаратуры. Все эти системы заземления должны быть присоединены к общей точке заземления, как это показано на рис. 4.19.

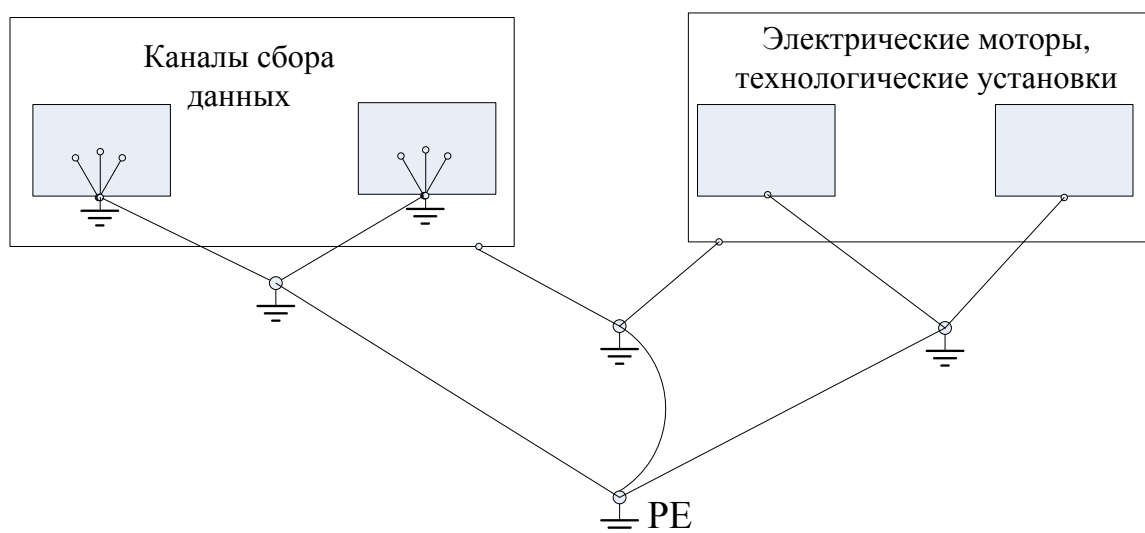


Рис. 4.19. Общее заземление для АС

Проблемы, связанные с заземлением в контрольно-измерительных системах, можно обобщить в следующих правилах:

- необходимо четко определить пути протекания тока. Токи, текущие от силового оборудования, должны возвращаться к тем же устройствам. Проводники, присоединенные к электрическим элементам, могут называться «землей», но в действительности функционировать как замкнутый контур и вызывать искажение напряжения или пиковые возмущения из-за импеданса кабелей;
- следует применять провода соответствующего сечения, как для силовых цепей, так и для цепей заземления;
- цифровые и аналоговые цепи должны заземляться отдельно. Когда цифровая система изменяет свое логическое состояние, на «цифровом заземлении» могут появляться значительные всплески напряже-

ния. Поскольку аналоговые цепи обычно очень чувствительны к возмущениям, то отдельное заземление снижает влияние резистивной связи.

В ПЗ следует обосновать и выбрать схему заземления.

Устройство бесперебойного питания. Электропитание системы автоматики обеспечивается от распределителей питания переменным током частотой 50 Гц напряжением 220 В по особой группе 1-й категории надежности с АВР и предусмотрено в электротехнической части проекта.

В составе системы автоматики АС всегда предусматривается устройство бесперебойного электропитания (ИБП, *UPS – Uninterruptible Power Source*).

Устройство бесперебойного электропитания обеспечивает работу системы автоматики при уменьшении или полной потере входного питающего напряжения в течение времени не менее 60 минут с момента пропадания напряжения питания.

ИБП имеет в своем составе аккумуляторную батарею необходимой емкости, снабженную специальным газорегенерационным устройством или имеющую специальный электролит на гелиевой основе, полностью исключающей выделения газов при зарядке или разряде батарей.

Время заряда аккумуляторных батарей обычно составляет 24 часа с момента восстановления питания.

Основной функцией источника бесперебойного питания является обеспечение резервного питания в случае пропадания основного. Он позволяет защитить от следующих проблем с электропитанием:

- 1) пропажи напряжения;
- 2) провалов напряжения;
- 3) импульсов напряжения;
- 4) повышения или понижения напряжения;
- 5) наличия помех: высокочастотных или коммутационных;
- 6) отклонения частоты;
- 7) искажения синусоидальности сигнала.

По типу защиты ИИБ делятся на три основных класса:

1. *Offline* – наиболее дешевое решение, обеспечивает резервирование электропитания, но не выдает чистый синусоидальный ток на выходе.

2. *Line-interactive*: ИИБ этого класса обеспечивают не только резервирование питания, но и сглаживают всплески сигнала, при этом также не обеспечивая достаточно чистого синусоидального тока на выходе. ИИБ данного класса находятся соответственно в средней ценовой категории.

3. *On-line*: Наиболее надежное, следовательно, и дорогое решение. ИИБ данного класса используются для защиты критически важных систем. Они обеспечивают защиту от любых видов неполадок питания,

предоставляя на выходе 100 % чистый, отрегулированный до заданных параметров переменный ток.

Основными брендами на рынке ИБП являются *Liebert*, *Powerware*, *AEG*, *APC*. Сменный комплект батарей *APC rbc44* можно приобрести в компании *Optima*.

При проектировании системы защиты электропитания необходимо знать:

1) мощность защищаемого оборудования с учетом периферийного и сетевого компьютерного оборудования. Мощность ИБП должна превышать мощность защищаемого оборудования на 10...20 % минимум;

2) время активизации резервирования питания. Это время зависит от мощности ИБП и защищаемого оборудования. Типичное время резервирования ИБП составляет от 5 до 30 минут – достаточное для того, чтобы корректно завершить работу систем. Установка дополнительных батарей позволяет увеличить это время, что может быть очень важно для автоматического закрытия сложных и опасных систем, например, систем ПАЗ;

3) средний срок службы ИБП. Обычно он составляет 5 лет, это средняя продолжительность жизни используемых в ИБП аккумуляторных батарей. Соответственно замена батарей может продлить срок службы ИБП еще на 5 лет. Следует иметь в виду, что в реальной жизни срок службы батарей может оказаться значительно меньшим, кроме того, к концу срока емкость аккумуляторов может значительно снизиться. Восстановлению герметичные батареи практически не поддаются.

Программное обеспечение ИПБ. Программное обеспечение должно быть совместимым с операционной системой. Кроме того, многие производители ИБП обеспечивают возможность удаленного мониторинга своих изделий.

Источник бесперебойного электропитания обеспечивает световую сигнализацию на блоке питания, а также сигнализацию на АРМ оператора режимов работы (работа от сети, работа от батареи, заряд батареи), а также неисправностей в сети электропитания и источника бесперебойного электропитания.

Задание по электрической схеме питания АС

В ПЗ, согласно ГОСТ Р 21.408 и функциональной В ПЗ следует:

- обосновать и выбрать схему электропитания АС;
- обосновать и выбрать схему заземления;
- обосновать и выбрать ИБП (прил. 16 и 17).

4.4. Разработка раздела закладных КИПиА

Закладная конструкция – это монтажный элемент, выполненный из металла (стали, нержавеющей стали, меди, латуни), использующийся для присоединения контрольно-измерительных приборов (манометров, термометров, уровнемеров, датчиков давления, температуры, запорной арматуры, импульсных линий) к технологическим трубопроводам, воздухопроводам, аппаратам и т.д. (рис. 4.20). Закладная конструкция широко используется в сфере НГО.

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

- закладные конструкции, предназначенные для установки приборов измерения температуры, отборных устройств давления, уровня, состава и качества вещества;
- закладные конструкции первичных приборов (счетчиков) (объемные и скоростные счетчики, сужающие устройства, ротаметры, датчики расходомеров и концентромеров);
- закладные конструкции поплавковых и буйковых датчиков, уровнемеров и сигнализаторов уровня;
- закладные конструкции установки регулирующих клапанов и задвижек.



Рис. 4.20. Закладные конструкции

Закладные конструкции могут проектироваться разработчиком проектной документации или приобретаться в рамках договорных отношений с предприятием-поставщиком закладных конструкций. Предприятия-поставщики публикуют специальные сборники, которые носят название ЗК, СЭК.

Так, сборник СЭК 14-2-2009 содержит чертежи установки на технологическом оборудовании инженерных сооружений: трубопроводах, паропроводах, газопроводах, закладных конструкциях отборных устройств измерения давления и разрежения вакуума.

Альбомы ЗК4, ЗК14 – это сборники чертежей монтажных элементов, с помощью которых осуществляется присоединение контрольно-измерительных приборов (термодатчиков, манометров, приборов для измерения уровня и давления, запорной арматуры) и средств автоматизации к трубопроводам, газоходам, воздуховодам и т.п.

Тип закладной детали и материал, из которого она изготавливается, определяются диапазоном рабочего давления, температурой и параметрами рабочей среды. Примеры типов закладных конструкций по чертежам ЗК4 приведены в табл. 4.1.

Параметры рабочей среды, материал, из которого должна быть изготовлена закладная конструкция, должны быть указаны при их заказе.

Наиболее распространенный материал, из которого изготавливаются закладные конструкции ЗК4: сталь 20, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т.

По чертежам ЗК4 изготавливаются следующие закладные детали: бобышки (рис. 4.21), бобышки с фланцами, пробки, расширители, штуцера, закладные трубы, отборные устройства давления, разряжения. Чертежи закладных конструкций использует разработчик рабочей документации (или монтажная организация) для выдачи задания на установку закладных конструкций на технологическом оборудовании или трубопроводе организации, проектирующей технологическое оборудование. Пример чертежа ЗК приведен на рис. 4.21. В случае выполнения монтажной организацией работ без привлечения специалистов по технологическому оборудованию чертежи и задание передаются на монтажно-заготовительный участок (для сборки узлов) и затем в производство.

Таблица 4.1

Основные типы закладных конструкций по чертежам ЗК4

№	Тип, устройство	Описание	Установка, характеристики
1	ЗК4-45-87	штуцер с крышкой	резьба М20×1,5
2	ЗК4-1-6-5, ЗК4-1-7-95	расширитель прямой	врезка в трубопровод Ду от 25 до 57 мм
3	Расширитель ЗК4	расширитель прямой или угловой	общее описание
4	ЗК4-1-85	бобышка с пробкой	установка «под приварку»
5	ЗК4-2-85	расширитель прямой или угловой	врезка в трубопровод Ду 14, 18, 25, 32, 38 мм
6	ЗК4-3-85	закладная конструкция – ЗК4; описание – расширитель прямой	врезка в трубопровод Ду 45, 57 мм
7	ЗК4-4-85	расширитель со скошенной бобышкой	врезка в трубопровод Ду 45, 57, 76 мм
8	ЗК4-5-85	бобышка скошенная с пробкой	резьба М18×2,0; М20×1,5; М27×2,0; М33×2,0
9	ЗК4-6-75	бобышка скошенная с пробкой	резьба М18×2,0; М20×1,5; М27×2,0; М33×2,0
10	ЗК4-1-1-95 ЗК4-1-2-95	бобышка с пробкой	установка «под приварку»
11	ЗК4-1-3-95	бобышка с колпачком-заглушкой	установка «под приварку»
12	ЗК4-1-4-95	патрубок с фланцем	установка «под приварку»
13	ЗК4-1-7-95	расширитель прямой	врезка в трубопровод Ду от 25 до 57 мм
14	ЗК4-1-8-95, ЗК4-1-9-95	расширитель угловой	врезка в трубопровод Ду от 25 до 57 мм
15	ЗК4-1-10-95, ЗК4-1-11-95	фланец с бобышкой	установка на воздуховоде
16	ЗК4-1-12-95, ЗК4-1-13-95	труба закладная с бобышкой или сальником	установка в кирпичной, бетонной стене
17	ЗК4-1-14-95, ЗК4-1-15-95	труба защит. с фланцем	установка на емкостях
18	ЗК4-1-16-95	бобышка	установка в гнезде подшипника

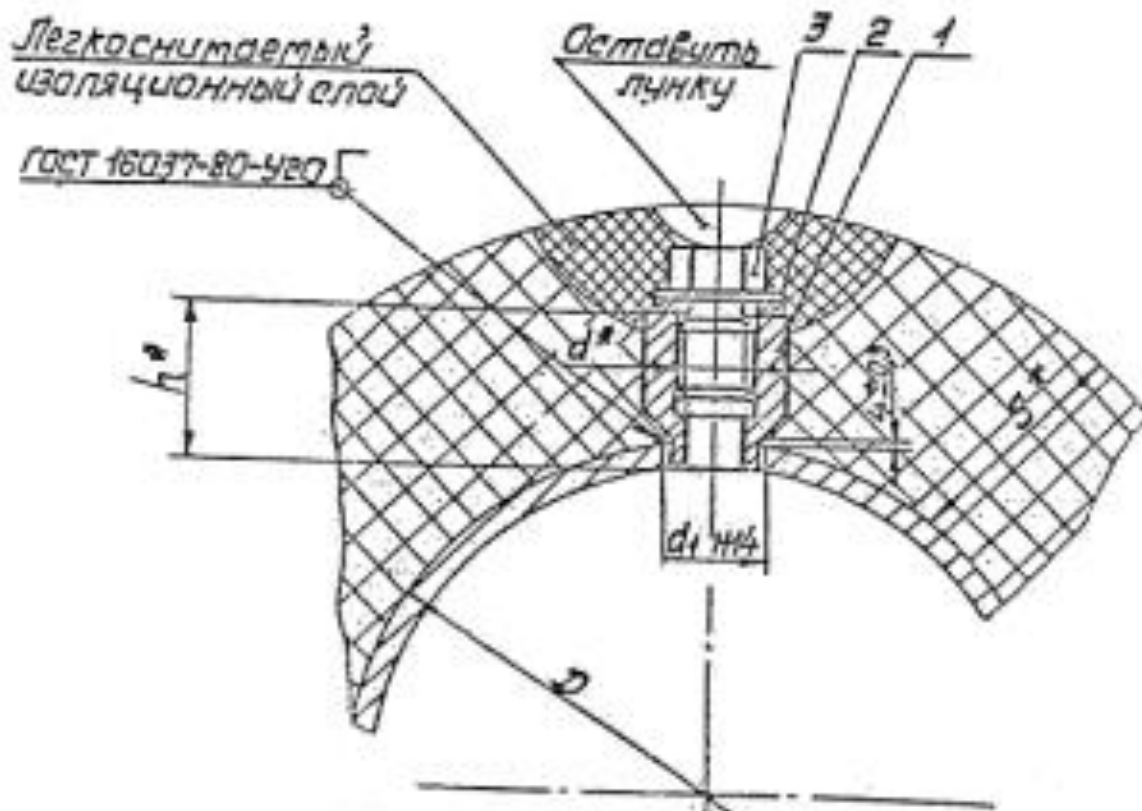
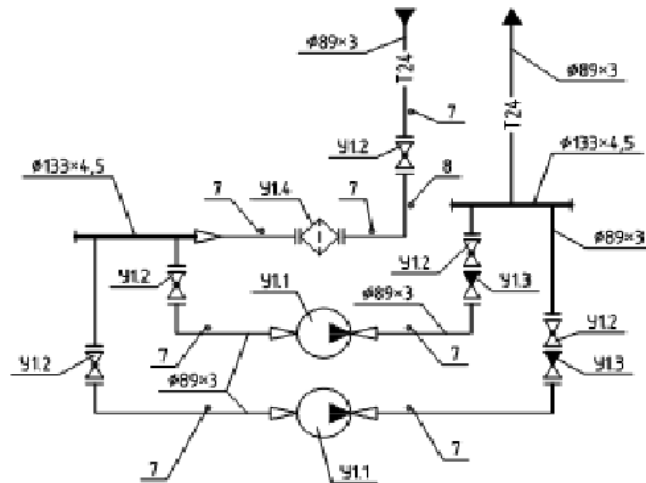


Рис. 4.21. Закладная конструкция, предназначенная для установки термопреобразователей на трубопроводе

Чертежи ЗК прилагаются к заданию, а также включаются в рабочие чертежи автоматизации. Спецификации готовых закладных конструкций указываются в рабочих чертежах проектных документов (рис. 4.22).

Схема



Спецификация

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, кг	Примечание
У11	GRUNDFOS (Дания)	Насос TP 40-190/2, расход 13,1 м³/ч, напор 12,3 м, мощность электродвигателя 0,75 кВт	2		1 раб., 1 рез.
У12	Danfoss (Дания)	Кран шаровой фланцевый JIP-FF Ø 80	4		
У13	Danfoss (Дания)	Клапан обратный чугунный 402 фланцевый Ø 80	2		
У14	Danfoss (Дания)	Фильтр сетчатый чугунный IFVF фланцевый Ø 80	1		
1		Фланец 1-40-16, ГОСТ 12821-80	4		
2		1-80-16, ГОСТ 12820-80	12		
3		Отвод 90° Ø 89x3, ГОСТ 17375-2001	6		
4		Переход К 89x3,5 - 45x2,5, ГОСТ 17378-2001	4		
5		К 133x4 - 89x3,5, ГОСТ 17378-2001	1		
6		Заглушка 133x4, ГОСТ 17379-2001	3		
7	Монтаж автоматика	Закладная конструкция ЗК14-2-3-2009	7		Давление
8	Проект монтаж автоматика	Бобышка ЗК4-1-1-95	1		Температура
9		Опора отвода Dн89-03, ГОСТ 34 266-75	4		
	ГОСТ 10704-91	Трубопровод из стальных электро-сварных труб Ø 89x3	2,6		н
	ГОСТ 10704-91	То же Ø 133x4,5	1,5		н

Рис. 4.22. Спецификация закладных конструкций для технологической схемы

Задание по выбору закладных КИПиА

В ПЗ, для выбранных КИПиА необходимо обосновать выбор закладных. Схемы закладных можно скопировать из альбома закладных конструкций по чертежам ЗК4.

4.5. Разработка шкафов, схем соединений и расположения АС

Конструкция шкафов локального управления (рис. 4.23), а также места установок и расположения на них устройств изображаются на чертежах общих видов.



Рис. 4.23. Шкаф управления

Чертежи общих видов должны выполняться в строгом соответствии со стандартом ЕСКД. В зависимости от функционального назначения щита и его конструктивных особенностей эскизный чертеж шкафа содержит:

- спецификацию, в которую кроме технических средств автоматизации входят изделия для установки и монтажа, кабели и провода;
- вид на внутренние плоскости;
- вид спереди;
- 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 (рис. 4.24) 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.

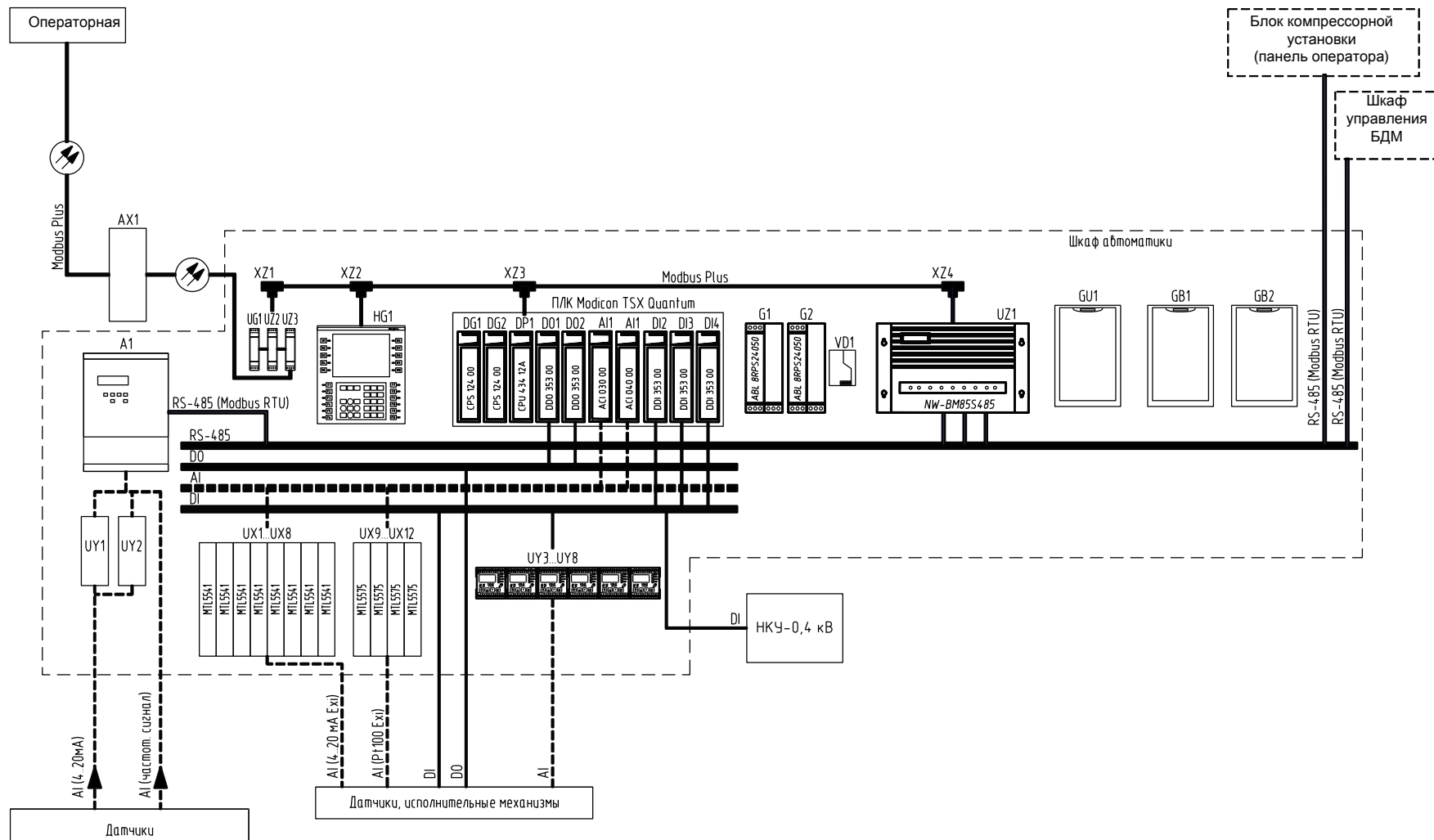
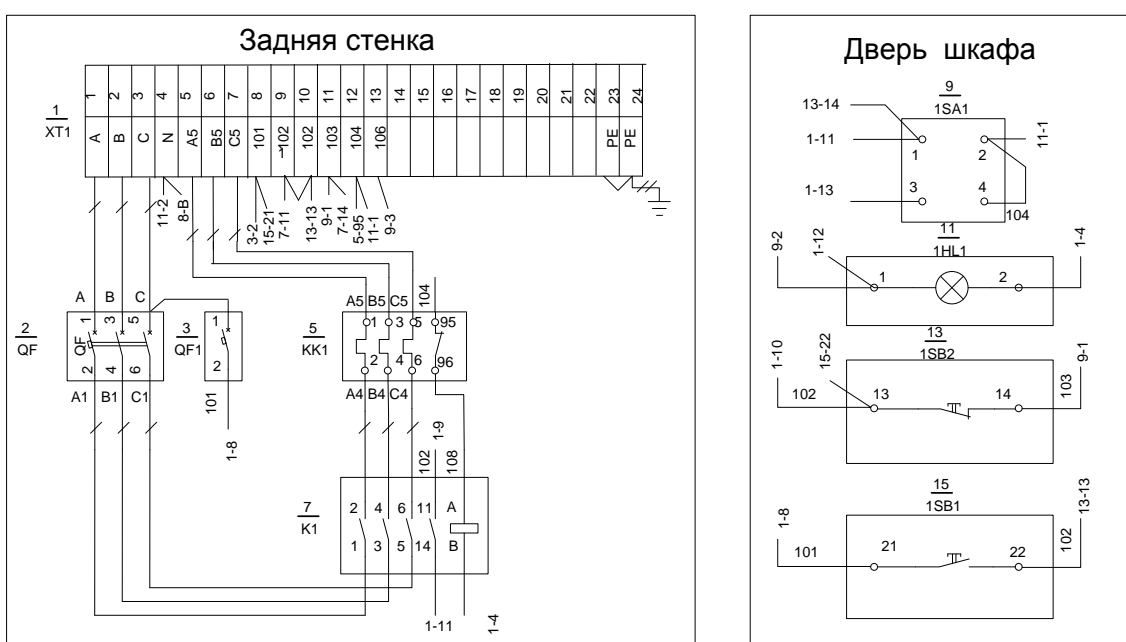
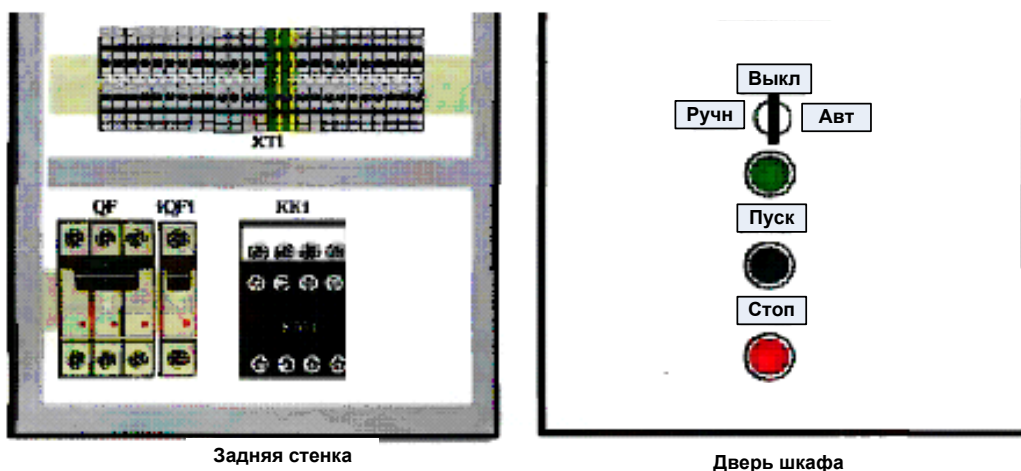


Рис. 4.24. Схема соединений (уровень ПЛК)

Для выбранной принципиальной схемы управления двигателем насоса (рис. 4.5) возможный вариант эскизной монтажной схемы пульта управления местного уровня (ЩМУ1) показан на рис. 4.25. Расположение КИПиА на схеме примерно соответствует фактическому размещению в конструкции шкафа. Рядом с каждым контрольным компонентом 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* (рис. 4.25) выполнена следующим образом. Выводы *2* и *4* переключателя *1SA1* (аппарат *9*) перемкнуты между собой, а с вывода *2* выходит провод *11-1* (аппарат *11*, вывод *1*). Второй конец этого провода на лампочке *1HL1* (аппарат *11*) имеет маркировку *9-2* (аппарат *9*, вывод *2*). Кроме того, с вывода *1* аппарата *11* отходит провод *1-12* (на клеммник *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.

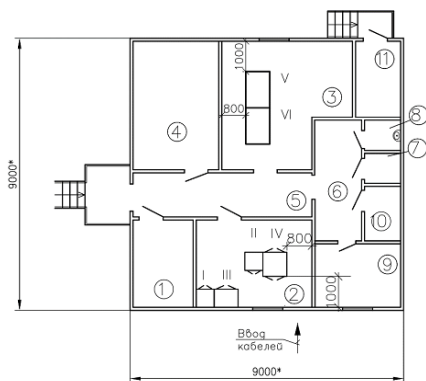


Монтаж выполнить для цепей, обозначенных
 ————— проводом ПВ1х1,5 мм²
 ————— проводом ПВ1х1,5 мм² желто-зеленого
 цвета, остальные цепи ПВ1х1,0

Рис. 4.25. Схема соединений шкафа местного управления (ШМУ)

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 рис. 4.26 показана схема расположения оборудования АС помещения оператора.



Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	Тепловой пункт		
2	Аппаратная		
3	Операторная		
4	Электрощитовая		
5	Коридор		
6	Раздевалка		
7	Туалет		
8	Кладовая		
9	Комната приема пищи		
10	Душевая		
11	Насосная		
I	Щит электропитания КИП	1	
II	Щит блоков КИП	1	
III	Щит контроля и блоков питания газоанализаторов	1	
IV	Шкаф оборудования АСУ *, 2200x800x800	1	
V	АРМ – рабочее место оператора	1	
VI	АРМ – рабочее место инженера	1	

Рис. 4.26. Схема расположения

Таблицы соединений используют для прокладки линий связи внутри шкафа (PM4-107-82). Запись проводок в таблицу соединений производят на основании ЭС и схем внешних проводок.

При заполнении таблиц соединений проводники записывают в пределах всего шкафа (секции), учитывая расположение приборов, аппаратуры, зажимов в шкафу на виде с внутренней стороны по одному из следующих правил:

1. По возрастанию номеров маркировки цепей на ЭС.

2. По методу непрерывности цепи, при котором, как правило, начало каждого последующего проводника должно быть на том аппарате, где окончился предыдущий проводник, или на аппарате, расположенном рядом.

Порядок заполнения граф таблицы соединений:

1. В графе «Проводник» указывают маркировку проводника по ПЭС.

2. В графах «Откуда идет» и «Куда поступает» приводят адреса присоединения проводников.

3. В графе «Данные провода» для проводов указывают их марку, сечение и, при необходимости, цвет.

4. В графе «Примечание» указывают название проводок, требующих отдельной прокладки, и символы перемычек.

Пример заполнения «Таблицы соединений» приведен в табл. 4.2.

Таблица соединений

	25	55	55	30	20
20	Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
8	Технические требования				
8	Таблица соединений выполнена на				
	основании схем ПК 6.092500.21.03 и				
	ПК 6.092500.21.04				
	1	ХТ2:1	Г/К4:1	ПВ1х1,0	
	2	ХТ2:2	Г/К4:2	ПВ1х1,0	
	3	ХТ2:3	ЗБ/К2:1	ПВ1х1,0	
	4	Р1.3/К3:2	ХТ2:4	ПВ1х1,0	
	5	ЗБ/К2:3	Р1.3/К3:1	ПВ1х1,0	
	6	Р1.3/К2:3	ХТ2/11	ПВ1х1,0	
	7	ХТ2:12	Р1.3/К3:4	ПВ1х1,0	

Таблицы подключения используют для подключения внутришкафных проводок к контактам приборов и аппаратуры (табл. 4.3).

Таблицы подключения проводок следует выполнять в порядке расположения приборов и аппаратуры с внутренней стороны шкафа, слева направо, сверху вниз, последовательно по стенкам (левая, передняя, правая) и поворотным конструкциям. Запись начинают с соответствующих заголовков (например, «Левая стенка» и т.д.).

В графе «Вид контакта» указывают позицию прибора и обозначение колодки или разъема. В графах «Вывод» указывают номер занятых выводов.

В графах «Проводник» против соответствующих номеров выводов указывают маркировку проводов, подключаемых к данному выводу.

- 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*.

Таблица 4.3

Таблица подключений

	25	15	10	15	25	25	15	10	15	25
15	Проводник	Вывод	Вид кон-такта	Вывод	Проводник	Проводник	Вывод	Вид кон-такта	Вывод	Проводник
8										
8	Технические требования									
	Таблица подключений выполнена на основании схем ПК 7.09250021.02, ПК 7.09250021.04 и таблицы соединений ПК7.092500.03 СП03									
	Левая стенка							<u>G</u>		
			<u>Зв</u>					K2		
	808	1		2	809	802	1		2	803
	810	3		4	11			K4		
	12	5		6	13	1	1		2	2
	14	7		9	15			<u>XT3</u>		
	10	10		\perp	Земля	5	1		2	2
						6	3		4	7
			<u>Зв</u>			8	18		19	9
	808	1		2	801	10	21		\perp	Земля
	812	3		4	803			<u>XT1</u>		
	Земля	5				804	1		2	805
						806	3		4	807
			<u>QF1</u>			808	5		6	809
	800	1		2	801	810	7		8	800
	802	3		4	803	801	9		10	802
						803	11		16	11
			<u>QF2</u>			12	17		18	13
	804	1		2	805			<u>XT2</u>		
	806	3		4	808	1	1		2	2
	809	5		6	810	3	3		4	4
						9	5		6	14
						8	7		8	15
						812	9		10	811
						6	11		12	7

Пример описания раздела разработки схемы расположения

Схема расположения компонентов АС в диспетчерском помещении приведена в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 06, пример – рис. 4.26). 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.

Задание по разработке схемы расположения

В ПЗ проекта необходимо на основе эталон-схемы разработать схему шкафа (прил. 15) и схему расположения оборудования в диспетчерском помещении, дать описание и привести спецификацию оборудования, приведенного на схеме расположения оборудования АС.

5. РАЗРАБОТКА ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СТАНЦИИ

5.1. Выбор человеко-машинного интерфейса АС

Выбор SCADA. Заказчики АС желают видеть графический пользовательский интерфейс (*GUI*), качественный и функциональный. Программа должна быть отлажена для 24-часовой работы с ней оператора (диспетчера). На экранных формах должны располагаться опции, ряды кнопок, выпадающие меню.

Оперативный персонал, который ведет технологический процесс объекта управления, непрерывно использует информацию и рекомендации по рациональному управлению, выработанные комплексами программно-технических средств АС с использованием экранных форм *АРМ* (рис. 5.1).

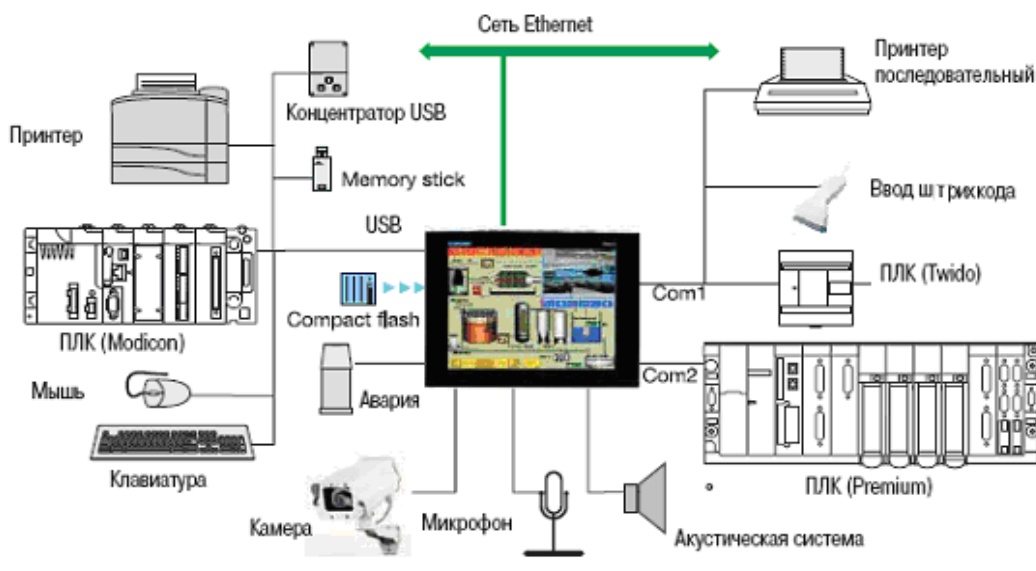


Рис. 5.1. АРМ диспетчера

Оперативный персонал в общем случае включает в себя группу специалистов-технологов:

- диспетчер производства;
- операторы технологического процесса;
- дежурный эксплуатационный персонал (мастера производства, слесари КИПиА, лаборанты и т.д.).

В дневную смену оперативной деятельностью занимаются в разной степени:

- диспетчер производства;
- оператор процесса;
- технолог процесса;
- мастер производства;
- руководитель производства;
- руководитель предприятия.

Однако непосредственно «ведет» технологический процесс, используя технические и программные средства АС, оператор (в некоторых производствах – диспетчер ТП). В зависимости от объема процесса, объема и вида информации диспетчер ТП может иметь одного или несколько помощников.

Станция диспетчера, в зависимости от требований задания на проектирование АС, может представлять собой различные компьютерные средства:

- панельный промышленный компьютер;
- рабочую станцию;
- офисный компьютер;
- компактный компьютер;
- панель управления.

Станция оператора может содержать несколько дисплеев или панелей, позволяющих одному оператору или нескольким операторам контролировать ход технологического процесса без частого переключения видеокадров.

Кроме того, для многоаппаратных и сложных транспортных технологических коммуникаций объекта, контроль и управление которыми осуществляют несколько человек, рекомендуется установка широко-масштабного табло коллективного пользования. Такое решение сравнительно дорогое, но его эффективность и целесообразность доказана эксплуатацией ряда АС.

Оператору-технологу объекта управления в общем случае от программно-технических средств АС требуется:

- представление в реальном масштабе времени данных о ходе технологического процесса;
- визуализация технологического процесса в виде кадров мнемосхемы;
- сигнализация отклонений параметров от заданных значений;
- возможность управляющих воздействий на элементы технологического процесса;

- составление графиков различного характера;
- составление отчетных таблиц по определенным формам.

Технические средства операторного уровня охарактеризованы выше.

Программное обеспечение с использованием технических средств состоит из двух частей:

- базового программного обеспечения;
- прикладного программного обеспечения.

Базовое ПО приобретается либо в комплекте с техническими средствами АС, либо приобретается дополнительно у фирм-разработчиков ПО.

В качестве базового программного обеспечения широко используются SCADA-программы.

Выбор SCADA-системы обусловлен корпоративно-производственным или ведомственным опытом эксплуатации АС. Возможно, что та или иная SCADA-система принята в качестве стандарта на предприятиях отрасли.

В случае отсутствия подобного ограничения выбор SCADA-системы следует начать с определения операционной системы, которую поддерживает SCADA: *Windows, QNX, OS, DOS, LINUX*.

ОС *Windows* – широко известная система, ею владеют многие специалисты по программированию как у проектировщика АСУТП, так и заказчика, потребителя. Использование других ОС (например, *QNX*) потребует дополнительного обучения персонала.

Поддержка ПЛК. При выборе ПЛК следует определить, какие типы контроллеров поддерживает SCADA-система и наличие инструментального пакета для разработки драйверов ввода/вывода контроллеров. Такое требование актуально, если на объекте управления в том или ином виде используются контроллеры различных типов.

Масштабируемость SCADA важна, потому что полевой уровень может быть разного объема по числу сигналов ввода/вывода (от десятков до тысяч сигналов). Желательно иметь SCADA-пакет, который можно экономично применить к проектируемой АС.

Поддержка БД. Следует рассмотреть инструментальное ПО разработки баз данных, сквозного программирования станций оператора и контроллеров, поддержки интерфейсов других SCADA-систем. Пакеты инструментального ПО упростят и ускорят разработку прикладных программ для АС, облегчат эксплуатацию системы в условиях постоянного совершенствования и изменения алгоритмов технологического процесса.

Техническая поддержка в период разработки АС и ее эксплуатации должна быть доступна и динамична к запросам пользователя SCADA-программами. Здесь важны язык общения и компетентность персонала, осуществляющего техническую поддержку, форма и обновление сайта

фирмы-поставщика SCADA-системы, а также регламентная роль диспетчера АС. Его диалоговый интерфейс включает в себя все функции, необходимые для контроля за работой технологического процесса или установки.

Функционал действий диспетчера. В зависимости от установленных требований диспетчер может выполнять:

1) регулярные задачи по управлению процессом:

- остановить и запустить работу установки. При этом возможны разные требования к процессу пуска и остановки, которые могут быть выполнены в автоматическом, ручном или полуавтоматическом режимах;
- осуществлять контроль и вносить коррективы, необходимые для регулярного процесса работы системы;

2) задачи для решения непредвиденных ситуаций:

- выявление аномальных ситуаций и выполнение корректирующих мер по исправлению ситуации до того, как будет нарушен процесс работы;
- корректный выход из состояния неисправности в системе, обеспечение остановки производства или переход в безопасный режим работы, ручное управления вместо автоматического для того, чтобы сохранить производство в рабочем состоянии;
- обеспечение безопасности людей и имущества при помощи защитных устройств в случае необходимости.

Масштаб этих задач показывает, насколько важна роль диспетчера. В зависимости от имеющейся у него информации он может принять решения и осуществить действия, выходящие за рамки обычной работы и непосредственно влияющие на безопасность и поддержание надежной работы установки. Это значит, что диалоговая система не должна быть ограничена лишь обменом информацией между человеком и машиной, а должна быть разработана с учетом упрощения работы оператора и обеспечения безопасности системы при любых обстоятельствах

Качество исполнения интерфейса. О качестве исполнения диалогового интерфейса можно судить по простоте, с которой диспетчер определяет и понимает событие, и по тому, насколько эффективно он может реагировать на это событие.

Выявление условий непрерывного мониторинга ТП. Любое изменение рабочих условий машины обычно изменяет отображаемую информацию на индикаторе, блоке индикации или экране. Оператор должен иметь возможность как можно быстрее выявить событие при любых внешних условиях (общее освещение и т.д.). Для привлечения внимания

могут быть использованы различные средства: мигание, изменение цвета, звуковой сигнал, антибликовые устройства и т.д.

Понимание происходящих событий. Чтобы предотвратить любые действия, которые могли бы поставить под угрозу безопасность, информация, которую видит диспетчер, должна быть достаточно четкой и точной, чтобы обеспечить возможность немедленного понимания.

Эргономика компонентов диалогового интерфейса так же важна, как и их функциональность:

- для контрольной лампочки: использование стандартного цвета, быстрые или медленные, четко дифференцируемые мигания и т.д.;
- для блока индикации: четкие тексты на родном языке пользователя, достаточное расстояние для прочтения и т.д.;
- для экрана: использование стандартных символов, изменение масштаба, обеспечивающее удобный просмотр области сообщения и т.д.

Реагирование на изменения в ТП. В зависимости от того, какое именно сообщение отправляет АС, диспетчеру, возможно, придется действовать быстро, нажимая одну или несколько кнопок, или клавиш. Правильность указанных действий обеспечивает:

- четкое обозначение кнопок и клавиш, например, стандартными символами на кнопках;
- «умная» эргономика, крупные клавиши, сенсорные кнопки и т.д.

Возможность эксплуатации в промышленных условиях. В зависимости от того, для какой системы предполагается применять средство человеко-машинного интерфейса, необходимо учитывать особенности эксплуатации.

Так, например, терминалы ХВТ компании *Schneider Electric* могут применяться:

- в горной и нефтехимической промышленности;
- в пищевой промышленности при обработке воды.

Они могут работать в условиях с высоким содержанием кислот и щелочей в воздухе. Использование терминалов в промышленности должно соответствовать требованиям безопасности. Например, ЧМИ АС компании *Schneider Electric* имеют все необходимые сертификаты классификационных обществ, такие как МЭК, *UL*, *CSA*, ГОСТ-Р, морские *BV*, *GL*, *LR* и т.д. Кроме этого, имеется сертификат *ATEX* на применение терминалов во взрывоопасной атмосфере.

Учет особенностей человека-оператора. При выборе средств человеко-машинного интерфейса необходимо учитывать культурные и психологические особенности диспетчеров. Например, возможны варианты:

- системой могут управлять несколько человек, и все они знакомы с основными принципами работы машины;
- системой может управлять неподготовленный человек;
- необходимо предусматривать страницы помощи и подсказок;
- системой может управлять один диспетчер.

Для удовлетворения всех этих потребностей пользователей имеются четыре основных типа решений:

1. *Дискретное управление и индикации*, Кнопки, селекторные переключатели, светодиоды, алфавитно-цифровые панели, счетчики и т.д. используются для настройки параметров системы и дискретного управления. Такие диалоговые средства удобны для небольшого объема информации в диалоге диспетчера и машины. Такие средства диалога отвечают требованиям безопасности и используются в системах безопасности.

2. *Компактные терминалы*. Алфавитно-цифровые и матричные панели и терминалы позволяют настроить более разнообразный диалог с диспетчером в системах управления. Возможно отображение псевдографики, аварийных сообщений и настройка функциональных клавиш. Такие диалоговые средства обычно используют для одного оператора машины, имеется возможность подключаться по сетям и шинам.

3. *Графические панели и терминалы*. Эти средства используются для отображения графической информации, удобной обработки аварийных сообщений, диагностики и обслуживания. Такие диалоговые средства обычно используются вместе с ПЛК для управления машиной или производственной линией.

4. *Промышленные ПК с программным обеспечением визуализации*.

Применение промышленного *Ethernet* позволяет обеспечить удобное управление как производством, так и технологическим процессом и обеспечить:

- управление производством и связь с ПО верхнего уровня (*ERP*);
- снижение стоимости производства, времени простоев, потребления энергии и т.д.;
- обслуживание, диагностику и поиск неисправностей.






Выбор ЧМИ. Для того чтобы отвечать требованиям к системам человеко-машинного интерфейса, система ЧМИ должна:

- отображать информацию четко и ясно, независимо от условий окружающей среды и других факторов;
- позволять диспетчеру быстро и четко производить управление системой, независимо от текущего состояния системы и условий окружающей среды и других факторов.

Табл. 5.1. представляет типы систем человеко-машинного интерфейса для разных задач автоматизации.

Таблица 5.1

**Типы систем человеко-машинного интерфейса
для задач автоматизации**

		Технологии				
		Интерфейсы				
Диалоговые потребности	Отображение (наглядность и удобство)	Цифровые индикаторы	Дисплеи и терминалы с текстовым или матричным экраном	Терминалы с графическими экранами	Автономные промышленные компьютеры и средства ЧМИ	Промышленные компьютеры и средства ЧМИ в распределенной сетевой архитектуре
	Действие / Операция сброса	Кнопки				
		Клавиатура / Сенсорный экран				
						
Архитектура	Простые	X				
	Оптимизированные		X			
	Компактные		X	X		
	Расширяемые			X		
	Производительные			X		
Высокопроизводительные				X	X	
Высокопроизводительные расшир.					X	
Сетевые	Промышленная сеть Ethernet			X		X

Средства отображения информации (приборы, табло и лампы, мнемосхемы и т.д.) предназначены для передачи человеку-оператору данных, характеризующих состояние объекта управления, его параметры, ход технологического процесса. К средствам отображения изобразительной информации относятся мнемосхемы (ГОСТ 21480), которые условно показывают структуру и динамику управляемого объекта, и алгоритм управления. Целесообразность их применения и требования к ним приведены в РМ4-65-74 «Чертежи мнемонических схем на щитах и пультах управления. Указания по оформлению».

При выборе средств отображения информации следует руководствоваться следующими принципами:

- 1) информация должна быть ограничена только тем, что необходимо оператору для принятия решений и выполнения определенных действий;
- 2) информация должна отображаться только с такой точностью, какая требуется оператору;
- 3) информация должна отображаться в форме, непосредственно пригодной для использования (различные вычисления или преобразования в другие единицы должны быть исключены);

4) необходимо знать:

- диапазон показаний переменной, о которой следует передавать информацию;
- максимальную точность и чувствительность, необходимые при передаче информации;
- скорость, требуемую при передаче информации;
- нормальное и максимально допустимое расстояние между средством отображения информации и потребителями передаваемой информации.

В функциональном отношении хорошим средством отображения информации считается то, которое обеспечивает наилучшее сочетание скорости, точности и чувствительности при передаче необходимой информации от машины к человеку. Этот критерий «наилучшего сочетания» нельзя определить в абсолютных величинах, он зависит от конкретной рассматриваемой системы: в некоторых случаях важнее скорость, в других – точность, т.е. отсутствие ошибки и неопределенности, в-третьих – чувствительность, т.е. обнаружение малейших изменений в измеряемой переменной.

Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС показана на рис. 5.2.

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

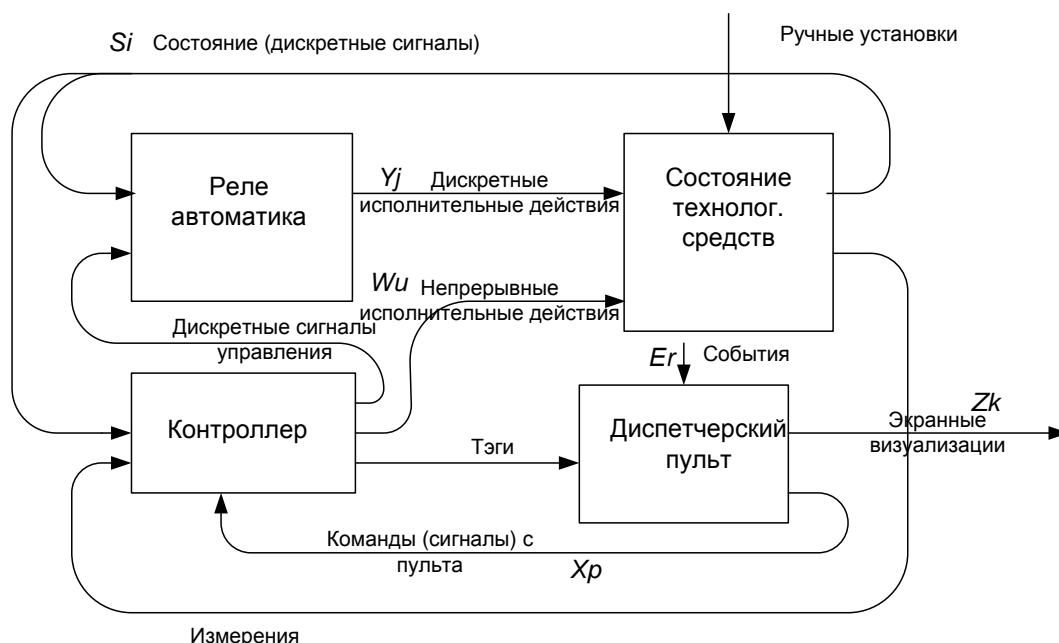


Рис. 5.2. Структурная схема связи аппаратной и программной частей АС

5.2. Разработка экранных форм АС

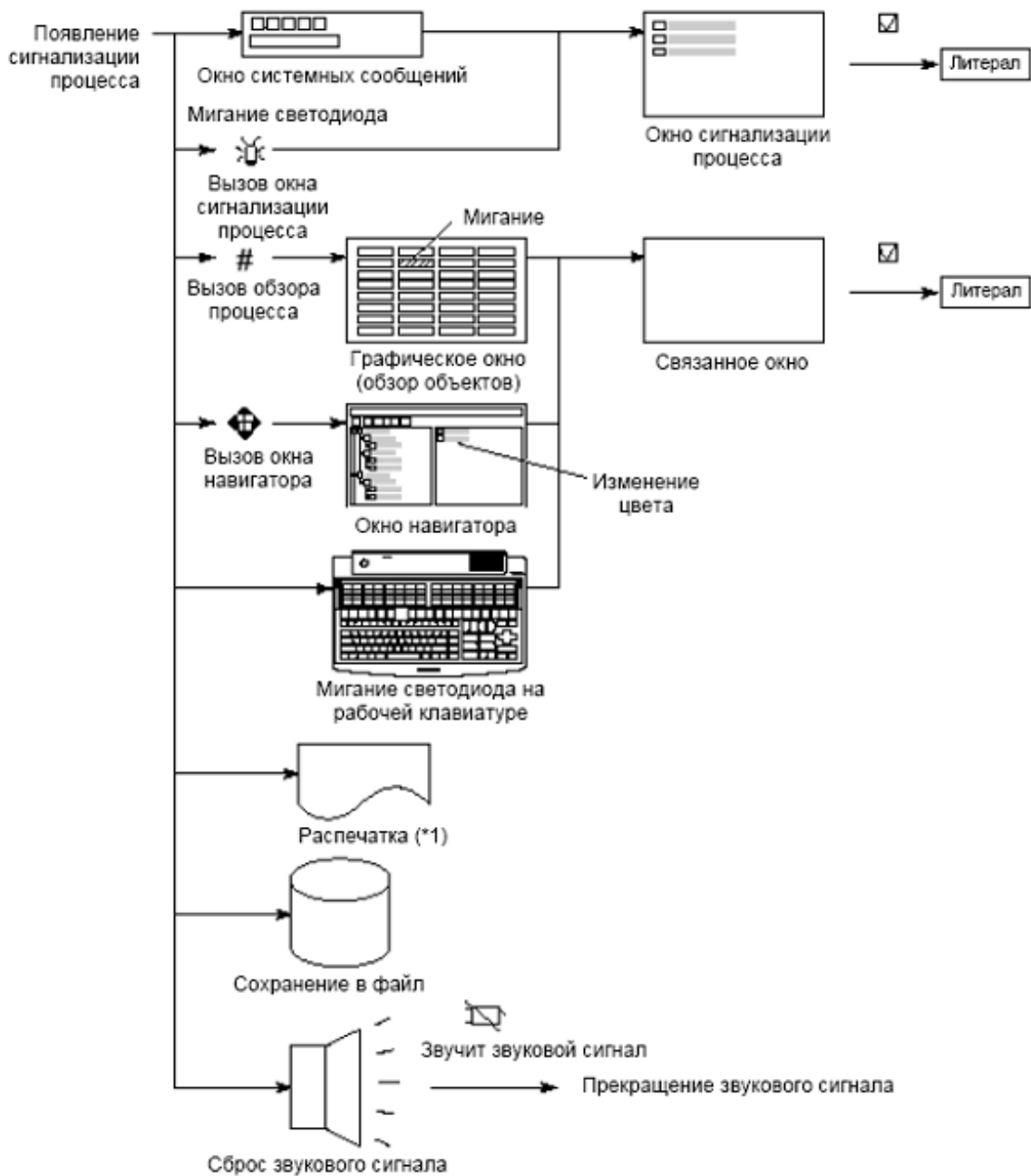
Экранные формы можно считать масками, через которые пользователь рассматривает поля непрерывной записи технологических точек наблюдения и управления. Маска скрывает от пользователя ненужные ему в данный момент поля. Следует создавать экранные формы, в которых поля размещены по полю экрана в удобном ему 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 раскрасить любыми доступными красками, использовать для оформления растры и графические элементы (линии и прямоугольники) (прил. 18).

Открытие экранных форм и квитирование сигнализаций процесса показано на рис. 5.3, где литерал указывает на текстовую строку действий оператора.

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.

Дерево экранных форм АС может быть представлено в виде, показанном на рис. 5.3.



Открытие окон и квитирование сигнализации процесса

Рис. 5.3. Управление экранными формами

Экранные формы (рис. 5.4) 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.

Самый важный вопрос проектирования экранных форм – как сделать, чтобы они были интуитивно понятными и могли, не утомив пользователя, провести его по тому или иному технологическому процессу. Пример экрана управления НС приведен на рис. 5.5.

Общие принципы проектирования экранных форм:

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

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

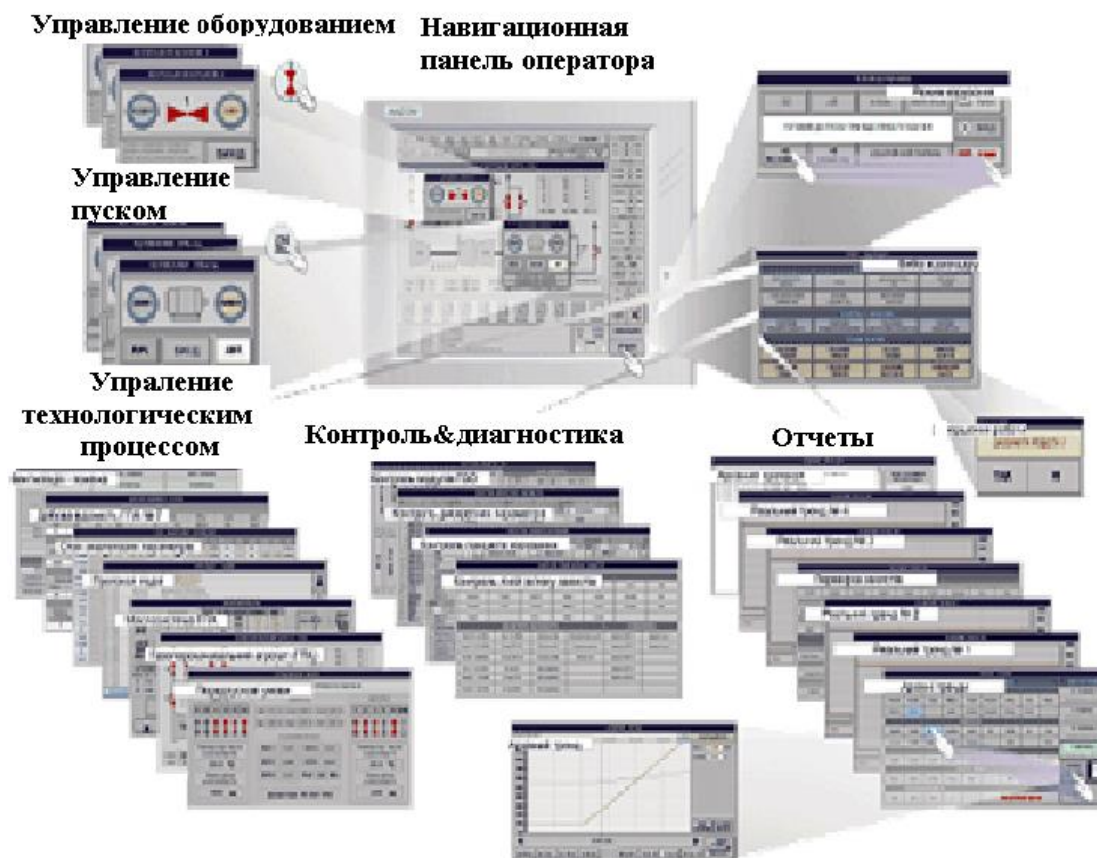


Рис. 5.4. Дерево экранных форм АС

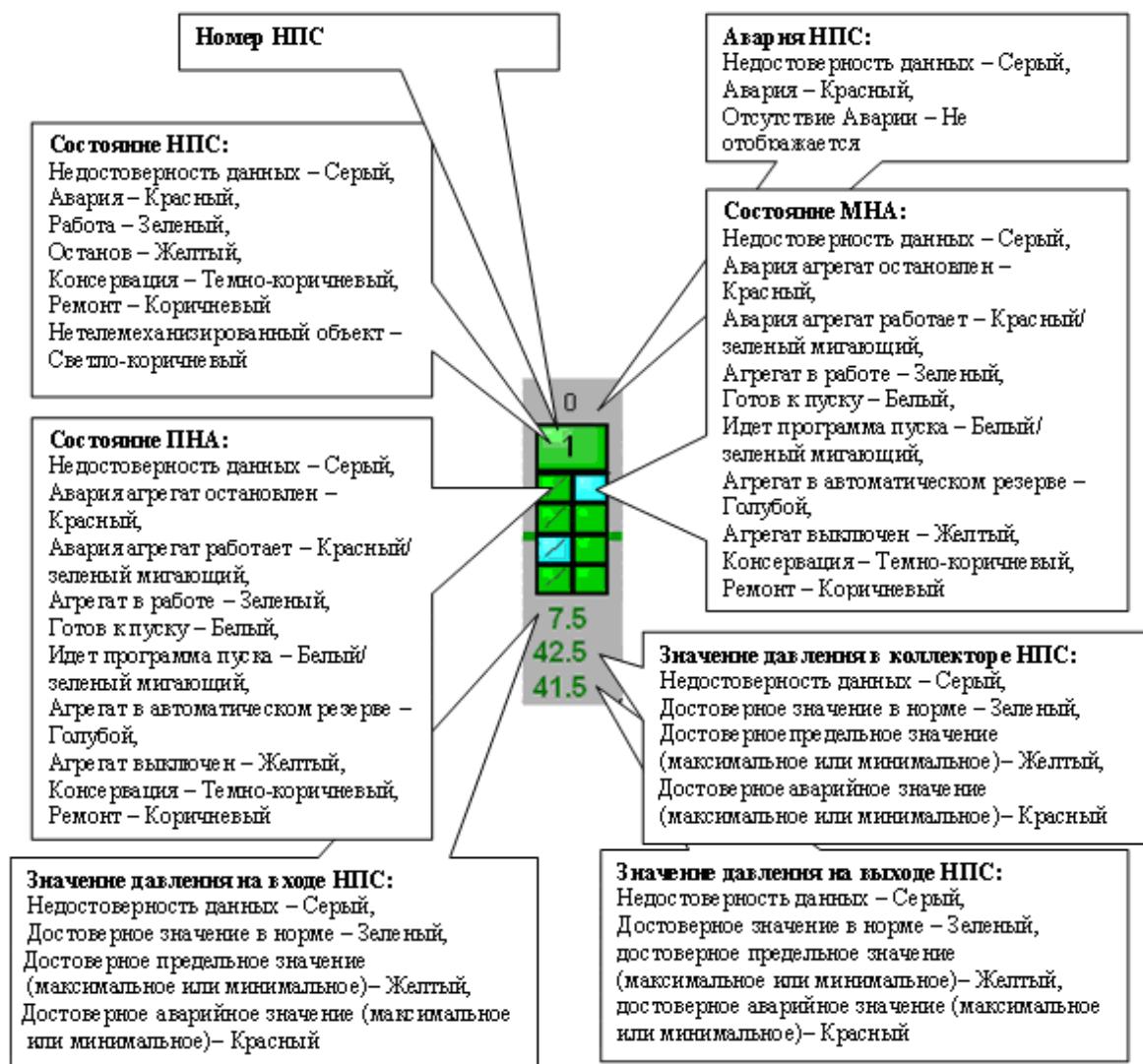


Рис. 5.5. Шаблон экрана управления насосной станцией

Для отображения сигнальной информации могут использоваться специальные цвета (табл. 5.2).

Для представления элементов управления используются шаблоны. Так, для насосно-перекачивающей станции шаблон управления может выглядеть так, как это показано на рис. 5.2.

Таблица 5.2

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

Пример описания раздела разработки экранных форм

В соответствии с функциональной схемой автоматизации (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 07, пример – прил. 7) объем тегов составляет 44. Этот объем реализуется SCADA в минимальной конфигурации. Дерево экранных форм приведено в альбоме схем (ФЮРА. 425280. 001 ЭС 13, пример – рис. 5.3).

Диспетчер имеет возможность осуществлять навигацию экранных форм с использованием кнопок прямого вызова. При старте проекта по-

является 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, пример – прил. 17).

5.3. Выбор SCADA 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 (*JDBC*, *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 т.ч. 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 ТЕРов.
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.

На рис. 5.6 показана взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС с использованием RS-485 на полевом и Ethernet-коммуникационном уровнях и SCADA.

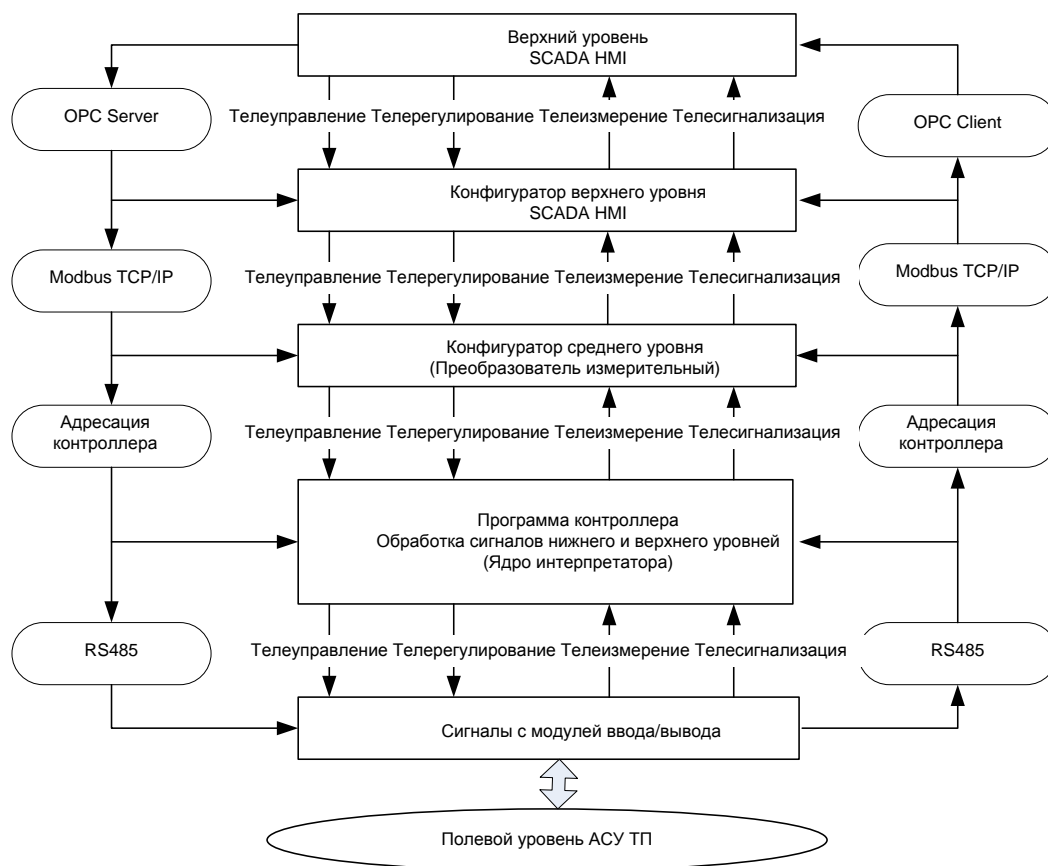


Рис. 5.6. Взаимосвязь программного обеспечения различных частей АС

Задание по разработке экранных форм

В ПЗ необходимо рассчитать объем тегов и обосновать выбор SCADA, привести описание тега одного из каналов сбора данных, описать проектные решения дерева экранных форм. Примеры экранных форм в ПЗ 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. Рекомендуется разработанные схемы поместить в альбом.

6. КОМПЛЕКСНАЯ НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

При разработке проекта АС проектной организацией часто заказчик устанавливает требование разработки и согласования программы испытания АС. Испытание систем автоматизации выполняется после полного окончания строительно-монтажных работ, приемки их рабочей комиссией согласно требованиям СНиП 12-01, настоящего стандарта и СНиП 3.05.07 на действующем оборудовании и при наличии устойчивого технологического процесса.

Испытания являются составной частью пусконаладочных работ на оборудовании АС, которые включают в себя:

- проверку выполненного монтажа систем в соответствии с требованиями СНиП 3.05.07-85 «Системы автоматизации», нормативной и технической документации;
- определение и установку параметров систем, согласование рабочих характеристик приборов и средств автоматизации, обработку логических и временных взаимосвязей в соответствии с требованиями проекта;
- устранение причин отказа или «ложного» срабатывания элементов и устройств системы;
- определение соответствия пропускной способности запорно-регулирующей арматуры требованиям технологического процесса, правильности положения выключателей, определение расходных характеристик регулирующих органов и приведение их к требуемой форме с помощью имеющихся в инструкции элементов настройки;
- уточнение статических и динамических характеристик объекта, корректировку значений параметров настройки систем;
- получение от заказчика и изучение графика работы технологического оборудования, программ включения в работу систем в период его комплексного опробования;
- включение в работу систем для обеспечения индивидуального испытания и комплексного опробования технологического оборудования;
- определение пригодности систем к эксплуатации и сдачу их заказчику, оформление приемосдаточной документации.

Испытания автоматизированных систем управления осуществляются в несколько этапов.

Подготовительные работы:

- организационная и инженерная подготовка работ;

- ознакомление с технической документацией, технологией производства, основным и вспомогательным оборудованием;
- разработка и согласование с заказчиком графика и программы испытаний.

Перед проведением испытаний проводятся наладочные работы, которые включают в себя:

- проверку технических средств автоматизации, в т.ч. проверку технического состояния приборов и аппаратов с доведением их параметров до норм, установленных нормативными документами, с заменой дефектных на исправные, поставляемые заказчиком;
- подготовку средств измерения к государственной поверке;
- проверку выполненного монтажа технических средств на соответствие требованиям 3-й части СНиП, проекту и инструкциям предприятий-изготовителей.

При комплексной наладке осуществляется:

- определение соответствия порядка отработки устройств и элементов систем сигнализации, защиты и управления алгоритмам рабочей документации с выявлением причин отказа или их «ложного» срабатывания, установка необходимых значений срабатывания позиционных устройств;
- определение соответствия пропускной способности запорно-регулирующей арматуры требованиям технологического процесса, правильности отработки выключателей;
- определение расходных характеристик регулирующих органов и приведение их к требуемой норме с помощью имеющихся в конструкции элементов настройки;
- подготовка к включению и включение в работу систем автоматизации для обеспечения комплексного опробования технологического оборудования;
- уточнение статических и динамических характеристик объекта, корректировка значений параметров настройки систем с учетом их взаимного влияния в процессе работы;
- испытание и определение пригодности систем автоматизации для обеспечения эксплуатации оборудования с производительностью, соответствующей нормам освоения проектных мощностей в начальный период;
- анализ работы систем автоматизации в эксплуатации;
- оформление производственной документации.

При проектировании испытаний выделяют 3 этапа: автономные, комплексные испытания и приемо-сдаточные испытания.

При комплексных испытаниях особую часть занимает настройка и испытания алгоритмов автоматических систем при неработающем оборудовании или при облегченной его работе. Для определения оптимальных параметров настройки регуляторов (параметрической оптимизации) АС необходимо иметь сведения о статических и динамических характеристиках объекта регулирования и действующих возмущений. Определение динамических характеристик объекта управления осуществляются по кривой его разгона.

Оптимальная настройка ПИД-регулятора позволяет максимально быстро и почти без перерегулирования вывести объект на уставку.

Признак правильной настройки – плавный, без рывков, рост регулируемого параметра и наличие тормозящих импульсов при подходе к уставке как снизу, так и сверху.

Если объект выходит на уставку с небольшим перерегулированием и быстрозатухающими колебаниями, можно немного уменьшить коэффициент усиления, оставив все остальные параметры без изменения.

Коэффициент усиления K объекта определяется как отношение приращения выходного сигнала к приращению входного в окрестности рабочей точки.

При определении динамических характеристик объекта по его кривой разгона на вход подается или ступенчатый пробный сигнал, или прямоугольный импульс. При снятии кривой разгона необходимо выполнить ряд условий:

1. Если проектируется система стабилизации, то кривая разгона должна сниматься в окрестности рабочей точки процесса.

2. Кривые разгона необходимо снимать как при положительных, так и отрицательных скачках управляющего сигнала. По виду кривых можно судить о степени асимметрии объекта. При небольшой асимметрии расчет настроек регулятора рекомендуется вести по усредненным значениям параметров передаточных функций. Линейная асимметрия наиболее часто проявляется в тепловых объектах управления.

3. При наличии зашумленного выхода желательно снимать несколько кривых разгона с их последующим наложением друг на друга и получением усредненной кривой.

4. При снятии кривой разгона необходимо выбирать наиболее стабильные режимы процесса, например, ночные смены, когда действие внешних случайных возмущений маловероятно.

5. При снятии кривой разгона амплитуда пробного входного сигнала должна быть, с одной стороны, достаточно большой, чтобы четко выделялась кривая разгона на фоне шумов, а с другой стороны, она

должна быть достаточно малой, чтобы не нарушать нормального хода технологического процесса.

Сняв кривую разгона (рис. 6.1) и оценив характер объекта управления (с самовывравниванием или без), можно определить параметры соответствующей передаточной функции. Передаточную функцию в виде апериодического звена рекомендуется применять для объектов управления с явно выраженной доминирующей постоянной времени (одноемкостный объект). Перед началом обработки кривую разгона рекомендуется пронормировать (диапазон изменения нормированной кривой 0–1) и выделить из ее начального участка величину чистого временного запаздывания.

Таблица 6.1

$t_i, \text{мин}$	0	2	4	6	8	10	12	14	18	22
h_H	0	0,087	0,255	0,43	0,58	0,7	0,78	0,84	0,92	0,96

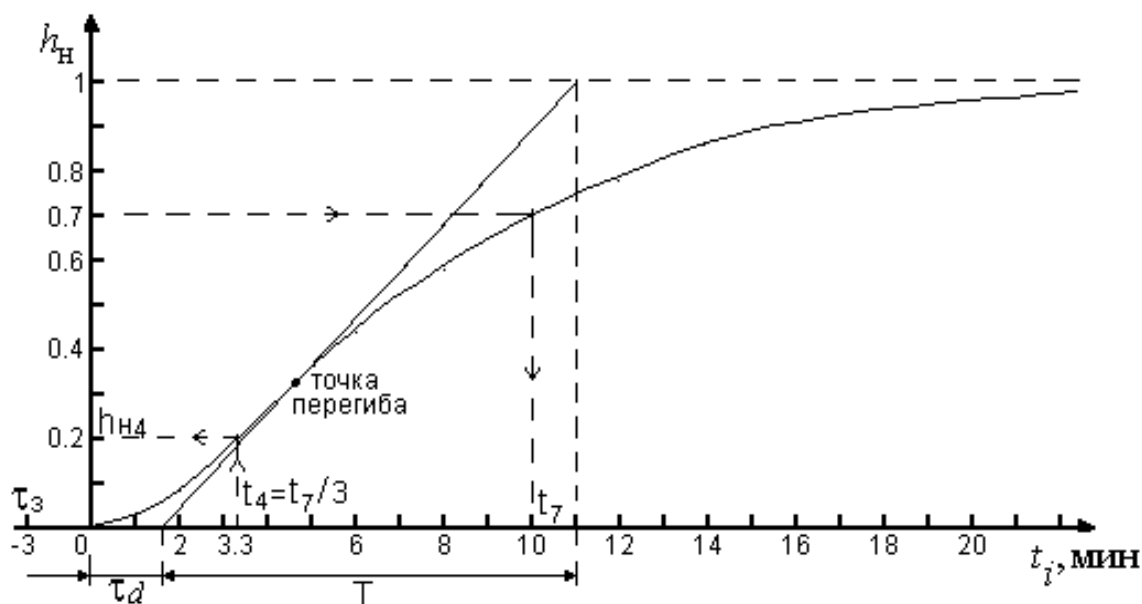


Рис. 6.1. График кривой разгона

Пример. Дана нормированная кривая разгона объекта, у которой заранее выделена величина чистого запаздывания $\tau_3 = 3$ мин. Построим график кривой разгона (рис. 6.1) по ее значениям, приведенным в табл. 6.1.

Определение динамических характеристик объектов по кривой разгона можно производить, воспользовавшись методом касательной к точке перегиба кривой разгона.

В данном случае точка перегиба соответствует переходу кривой от режима ускорения к режиму замедления темпа нарастания выходного сигнала. Постоянная времени T и запаздывание τ_d определяются в соответствии с графиком рис. 6.1, т.е. $\tau = \tau_d + \tau_d$.

При настройке регулятора должны использоваться экспериментальные измерения кривой разгона объекта управления и методы Николсона – Циглера или Коен-Куна. Оптимальным считается переходной процесс с затуханием амплитуды колебаний равным $1/4$. Разработаны табличные варианты методов, не требующие перевода объекта в режим автоколебаний.

Настройками ПИД-регулятора являются:

Время выборки – интервал проверки процесса изменения действительного значения – 10 мс, пределы настройки – 1~2 000.

Пропорциональная составляющая ПИД (K_p) – коэффициент умножения. Для пропорционального регулирования пределы настройки (%) – 1 ~ 30 000. При значениях больше 30 000 % $K_p = 30 000$ %.

Интегральная составляющая ПИД (k_i) – коэффициент умножения k_i обратных значений T_i . При интегральном регулировании пределы настройки (%) – 0~30 000. Выбор нуля k_i выключает эту составляющую ПИД. При значениях больше 30 000 % $k_i = 30 000$ %.

Дифференциальная составляющая ПИД (k_d) – коэффициент умножения k_d (дифференциальная постоянная времени T_d). При дифференциальном регулировании пределы настройки (%) – 0~30 000. Выбор нуля препятствует интегральному регулированию. При значениях больше 30 000 % $k_d = 30 000$ %.

Зона нечувствительности ПИД (Δ) – определяет минимальное рассогласование, при котором выход не работает. Пределы настройки – 0~32 767.

Верхнее ограничение выходного сигнала ПИД (H_{max}) – определяет максимальное выходное значение (ед. 100 мс). Пределы настройки 0~32 767.

Нижнее ограничение выходного сигнала ПИД (H_{min}) – определяет минимальное выходное значение (ед. 100 мс). Пределы настройки – 0~32 767.

Верхнее ограничение интегрирования (H_{i_max}) – определяет максимальное значение интегрирования, пределы настройки 0~32 767.

Нижнее ограничение интегрирования (H_{i_min}) – определяется минимальное значение интегрирования, пределы настройки – 0~32 767.

Наладка программных комплексов включает в себя статическую и динамическую наладку функционально законченных, проблемно ориентированных наборов программных средств (отдельно налаженных программ), предназначенных для решения входящих в программный комплекс задач.

Статическая наладка включает в себя:

1. Контроль предварительных программных документов и проверку взаимодействия программ по передаче управления и составу информации в соответствии со схемой комплексного алгоритма.
2. Проверку состояния различных регистров и рабочих ячеек при передаче управления последующим программам посредством схем и текста программ с использованием необходимых тестов.
3. Последовательное сопряжение на ПТК по информации и управлению групп программ в порядке увеличения информации, передаваемой при взаимодействии функциональных программ операционной системы.
4. Проверку функционирования программ на базе информации, имитируемой в составе тестов.
5. Выявление и устранение причин нестыковки программ и корректировку их по результатам наладки.
6. Сдачу программных комплексов по программе и методике испытаний.

Динамическая наладка включает в себя:

- 1) проверку и наладку начального режима включения программ на имитируемых массивах информации от внешних источников;
- 2) проверку и наладку взаимодействия функциональных программ с программами обмена информацией и организации вычислительного процесса;
- 3) проверку динамики подключения программ, выработки сигналов включения периодических, служебных и управляющих программ;
- 4) проверку и наладку взаимодействия функциональных программ при различной последовательности их включения центральным диспетчером в режиме нормальной загрузки и с учетом реального времени;
- 5) подключение внешних абонентов и замыкание контура управления реальными объектами;
- 6) проверку взаимодействия разработанных программ в условиях функционирования реальных объектов;
- 7) проверку эффективности функционального контроля программной системы и системы взаимодействия технических средств вычислительного комплекса (аппаратно-программное сопряжение);
- 8) корректировку программ и программной документации по результатам наладки;

9) сдачу программных комплексов по программе и методике испытаний в объеме, предусмотренном соответствующими ГОСТами.

Доработка программного обеспечения АС включает в себя подготовку кода отдельных программ по категориям сложности, приведенным во вводных указаниях к отделу, необходимость в которых возникает при доработке программного обеспечения и обосновывается заказчиком.

Наладку (подстройку) ПИД-регулятора можно выполнять ручным способом:

1. Увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости.

2. С уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее.

3. Уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости.

4. Увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

В соответствии с требованиями СНиП 3.05.07-85 (с изм. 1 1990 г.) «Системы автоматизации» при испытаниях выполняются следующие работы:

- ознакомление с техническим заданием, содержащим данные о постановке задачи, уровне автоматизации программирования, длины программы в командах машинного или в операторах проблемно-ориентированного языков и другие требования;

- анализ и уточнение постановки задачи;

- определение структуры входных и выходных данных, формы их представления, выбор и обоснование оптимального метода реализации алгоритма;

- определение связей по управлению и информации;

- разработка схем и описания алгоритма и схемы программ;

- согласование алгоритма по входным и выходным данным и глобальным переменным со связанными алгоритмами других программ;

- определение общих тестовых данных для наладки программ и средств автоматизации программирования;

- кодирование программ и подготовка машинных носителей;

- разработка и оформление программной документации.

Автономные испытания систем. В состав оборудования, подлежащего автономным испытаниям автоматизированных систем управления технологическими процессами, смонтированных на объекте строительства, согласно проекту автоматизации и в соответствии с требова-

ниями СНиП, технических условий и инструкций заводов – изготовителей технических средств, входят:

- 1) системы непрерывного и (или) по вызову измерения;
- 2) системы сигнализации отклонений значений технологических параметров;
- 3) системы, реализующие функции вычислительных или логических операций информационного характера с использованием вычислительной техники;
- 4) системы, реализующие функции автоматического регулирования и управления.

В соответствии с требованиями СНиП 3.05.07-85 (с изм. 1 1990 г.) «Системы автоматизации» выполняются следующие работы:

- проверку выполненного монтажа в соответствии с требованиями СНиП по монтажу систем автоматизации;
- согласование адресации и фазировки каналов связи;
- проверку и настройку параметров каналов связи;
- фазировка и контроль характеристик исполнительных механизмов;
- проверка и настройку логических и временных взаимосвязей систем сигнализации, защиты, блокировки и управления;
- проверку и настройку параметров цепей питания;
- проверку правильности прохождения сигналов;
- предварительное определение характеристик объекта, расчет и установку параметров настройки ПИД-регуляторов;
- подготовка к включению и включение в работу систем для обеспечения индивидуального испытания технологического оборудования; корректировку параметров настройки систем в процессе индивидуальных испытаний технологического оборудования и под нагрузкой;
- оформление рабочей документации.

Комплексные испытания АС. К комплексным испытаниям АС приступают после полного окончания строительно-монтажных работ и сдачи их рабочей комиссии в порядке, установленном СНиП по монтажу технологического оборудования и приемке в эксплуатацию законченных строительством объектов.

В соответствии с требованиями СНиП 3.05.07-85 (с изм. 1 1990г.) «Системы автоматизации» выполняются следующие работы:

- получение от Заказчика и изучение графика включения технологического оборудования в период комплексного опробования;
- разработку программы включения в работу систем автоматизации в период комплексного опробования технологического оборудования и согласование ее с Заказчиком;

- подготовку к включению и включение в работу систем автоматизации для комплексного опробования технологического оборудования;
- определение соответствия порядка отработки отдельных элементов систем сигнализации, защиты, управления алгоритмами проекта; устранение причин отказа или «ложного» срабатывания отдельных элементов и устройств в схемах;
- уточнение статических и динамических характеристик объекта, определение и корректировку значений параметров настройки систем;
- испытание и определение пригодности систем автоматизации к эксплуатации;
- 72-часовое непрерывное испытание (прогон) систем совместно с эксплуатационным персоналом в период комплексного опробования технологического оборудования;
- сдачу систем в эксплуатацию;
- оформление рабочей документации.

Результаты комплексного испытания АС должны подтвердить правильность выбранных технических решений проекта АС.

Существенной проблемой комплексных испытаний является испытание автоматических регуляторов.

Большой группой автоматических регуляторов, требующих испытаний и настройки на работающем в облегченном режиме оборудовании, являются САР клапанов и задвижек с использованием асинхронных и пневматических приводов. ИМ на их основе могут находиться только в трех состояниях: перемещение рабочего органа (РО) с постоянной скоростью v , в прямом или обратном направлении и неподвижность. Без учета времени разгона и торможения статическая характеристика такого ИМ имеет вид, представленный на рис. 6.2, *a*. Такая статическая характеристика является существенно нелинейной, и ее нельзя линеаризовать с достаточной для практических расчетов точностью при различных диапазонах изменения входного сигнала σ . А это значительно усложняет проблему их настройки во время испытаний.

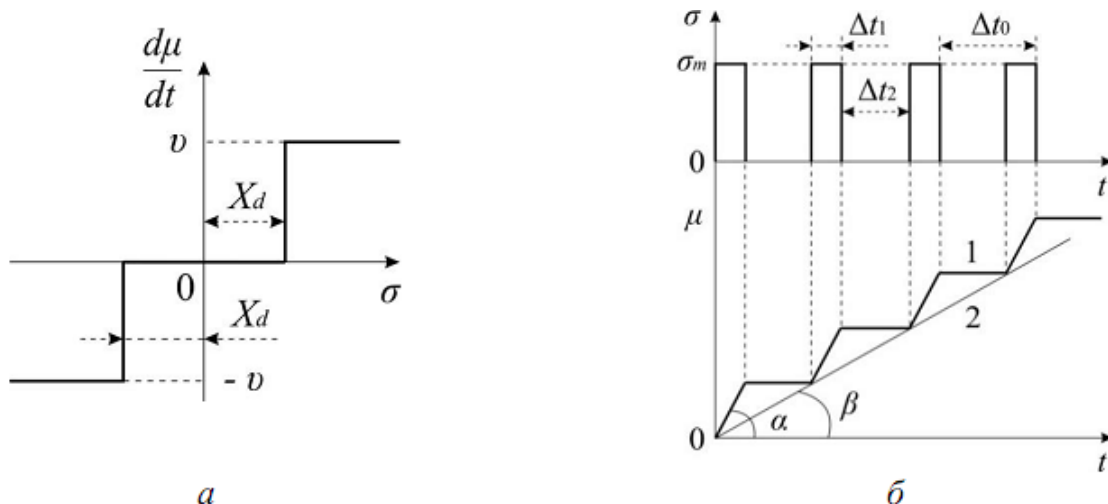


Рис. 6.2. Статическая характеристика ИМ (а) и характер его перемещения при подаче на вход серии импульсов (б): X_d – зона нечувствительности; $d\mu/dt$ – скорость перемещения РО

Настройка асинхронного электропривода ИМ

Для электропривода на основе асинхронных моторов можно воспользоваться методологией настройки, обеспечивающей линеаризацию статических характеристик ИМ за счет формирования релейно-импульсного изменения его входного сигнала. Суть этой методологии состоит в следующем. Если подать на вход ИМ импульсы σ_m с периодом следования Δt_0 и скважностью

$$\gamma = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_0} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2},$$

где Δt_1 – длительность импульсов;

Δt_2 – длительность пауз, то во время поступления импульса ИМ будет перемещать РО с постоянной скоростью, определяемой выражением

$$v = \operatorname{tg} \alpha.$$

Во время пауз напряжение на электроприводе будет отсутствовать, что приведет к его остановке или к его выбегу, а при поступлении на него импульса напряжения питания он будет разгоняться. В результате характер перемещения ИМ будет соответствовать кривой 1 на рис. 6.2, б.

Средняя скорость перемещения РО определяется выражением

$$\frac{d\mu}{dt} = \operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta t_1 v}{\Delta t_0} \gamma v.$$

Таким образом, по каналу « γ – μ » исполнительный механизм можно представить интегрирующим звеном, причем реализация закона

И-регулирования будет тем точнее, чем меньше Δt_1 и Δt_2 . Однако при этом повышается частота включений ИМ, а, следовательно, увеличивается его износ.

Другим вариантом управления асинхронным приводом является схема, приведенная на рис. 6.3.

Устройство обратной связи, так же, как и алгоритм управления технологическим параметром трубопровода, может быть реализовано на основе ПЛК, так что скважность импульса определяется на основе выражения

$$\gamma = \frac{T}{k\sigma_m} \left(\frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\varepsilon}{T} \right).$$

Тогда средняя скорость перемещения РО будет

$$\frac{d\mu}{dt} = \gamma v = \frac{Tv}{k\sigma_m} \left(\frac{d\varepsilon}{dT} + \frac{\varepsilon}{T} \right),$$

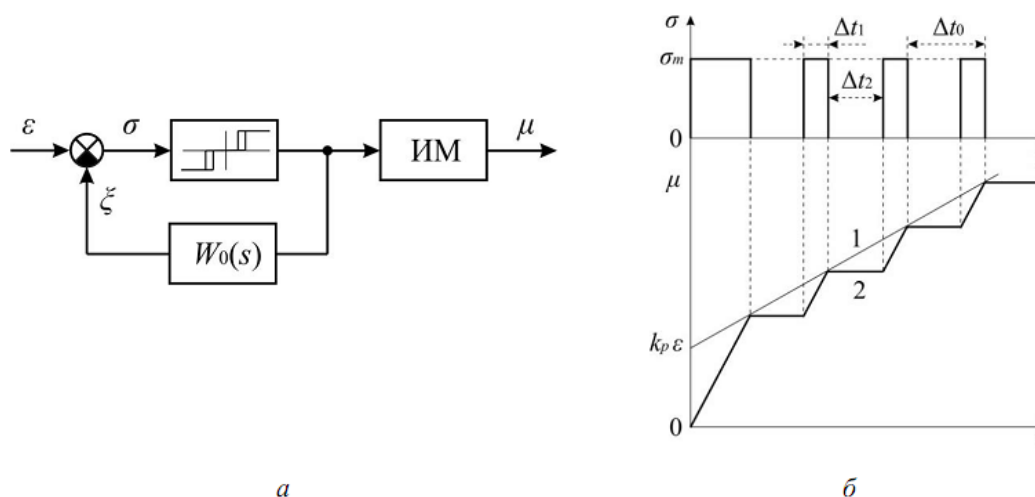


Рис. 6.3. Импульсное управление асинхронным приводом

и решение этого уравнения примет вид

$$\mu = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_{из}} \int \varepsilon dt \right),$$

где $k_p = \frac{Tv}{k\sigma_m}$; $T_{из} = T$.

Анализ полученного выражения показывает, что релейно-импульсный регулятор с ИМ, показанный на рис. 6.3, а, приближенно реализует закон ПИ-регулирования. В действительности же характер

перемещения $\mu = f(t)$ имеет вид ломаной линии (кривая 2 на рис. 6.3, б). Эта ломаная линия может быть приближенно заменена прямой, причем чем меньше длительность одного включения Δt_1 релейного элемента и длительность паузы Δt_2 , тем точнее совпадает действительный закон изменения $\mu(t)$ с линеаризованной прямой. При этом, несмотря на наличие в регуляторе нескольких существенно нелинейных элементов, регулятор, с достаточной для практических целей точностью, реализует линейный закон ПИ-регулирования.

Пропорциональная составляющая приближенно реализуется за счет начального быстрого перемещения РО с постоянной скоростью при изменении ε , а интегральная составляющая – за счет последующего автоколебательного режима работы релейного усилителя с отрицательной обратной связью и соответствующих перемещений ИМ.

При поступлении на вход регулятора постоянного сигнала $\varepsilon = \varepsilon_0$ закон ПИ-регулирования запишется в виде

$$\mu(t) = k_p \varepsilon_0 \left(1 + \frac{1}{T_{из}} t \right).$$

Это уравнение определяет переходный процесс в линеаризованном ПИ-регуляторе при $\varepsilon = \varepsilon_0$ (прямая 1 на рис. 6.3, б), однако фактический переходный процесс определяется ломаной линией, степень приближения которой к идеальному ПИ-регулятору зависит от интервалов времени Δt_1 и Δt_2 . Следует отметить, что процессы в трубопроводной обвязке технологических установок НГО характеризуются значительной инерционностью, и это означает, что малыми интервалами Δt_1 и Δt_2 можно пренебречь и таким образом можно считать исполнительный механизм с пускорегулирующим устройством линейным интегрирующим элементом, несмотря на его существенно нелинейную статическую характеристику (рис. 6.3, а).

Подтверждением этого тезиса является и тот факт, что промышленностью выпускаются ИМ с аналоговым регулированием, например, АМЕ-20/23 (*Danfoss*, Дания) и импульсные регуляторы типа РП4-У.

Поскольку ИМ, как правило, при монтаже располагается непосредственно у объекта управления, а регулятор – в шкафу управления, то представленная схема при прочих равных условиях предполагает меньший расход проводникового материала (т.к. не требуется охватывать ИМ обратной связью). Однако ее аппаратная реализация сопряжена с необходимостью дифференцирования входного сигнала, что приводит к ложным срабатываниям при малом изменении ε и способствует выходу из строя ИМ.

С помощью импульсного регулирования также возможно приближенно реализовать закон ПИД-регулирования. При этом на вход суммирующего элемента, в отличие от ПИ-регулирования, подается не только отклонение ε регулируемой величины от заданного значения, но и ее производная ε_d с выхода реального дифференцирующего звена. Однако использование регуляторов с дифференциальной составляющей в НГО для управления ИМ неоправданно по следующим причинам:

- настройка ПИД-регулятора на практике сложнее, чем ПИ-регулятора;
- ПИД-регулятор в одинаковых условиях функционирования по сравнению с ПИ-регулятором будет иметь преимущество по времени переходного процесса, но при этом будет проигрывать по вырабатываемому ресурсу ИМ;
- при изменении свойств объекта управления в ходе эксплуатации системы запас устойчивости в случае применения ПИД-регулятора уменьшается быстрее, чем при использовании ПИ-регулятора.

Пневматический привод клапана. Пневматический привод реализуется на основе позиционеров (рис. 6.4). Если перемещение штока клапана (ИМ) осуществляется путем пуска сброса/подачи пневмодавления в РО с использованием клапанов 1 и 2, то его статическая характеристика будет иметь форму типа трехпозиционного реле, а влияние частого переключения клапанов 1 и 2 («дребезга») можно ослабить за счет использования гистерезиса в статической характеристике (рис. 6.5). Для линеаризации такой нелинейности используют глубокую обратную связь в виде усиленного звена. В этом случае можно реализовать в САР закон П-регулирования (рис. 6.4).

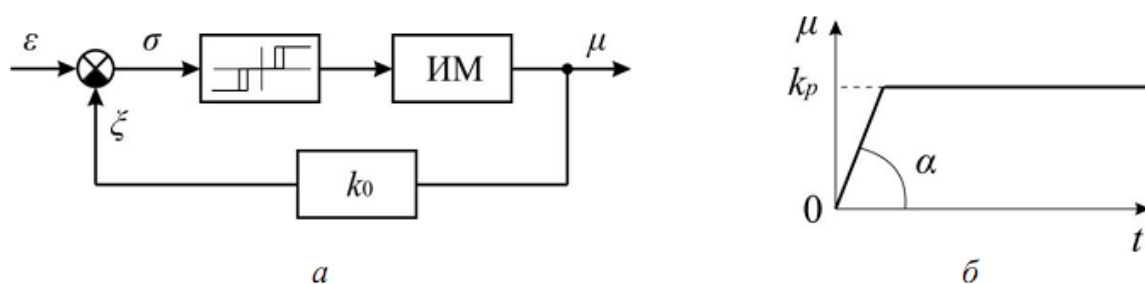


Рис. 6.4. Структурная схема П-регулятора позиционера с глубокой обратной связью по положению (а) и переходный процесс при входном ступенчатом воздействии (б)

При поступлении на вход регулятора положения (рис. 6.5) рассогласования $|\varepsilon| > X_d$ ИМ включится (рис. 6.5) и будет перемещать РО с постоянной скоростью v в сторону ликвидации рассогласования.

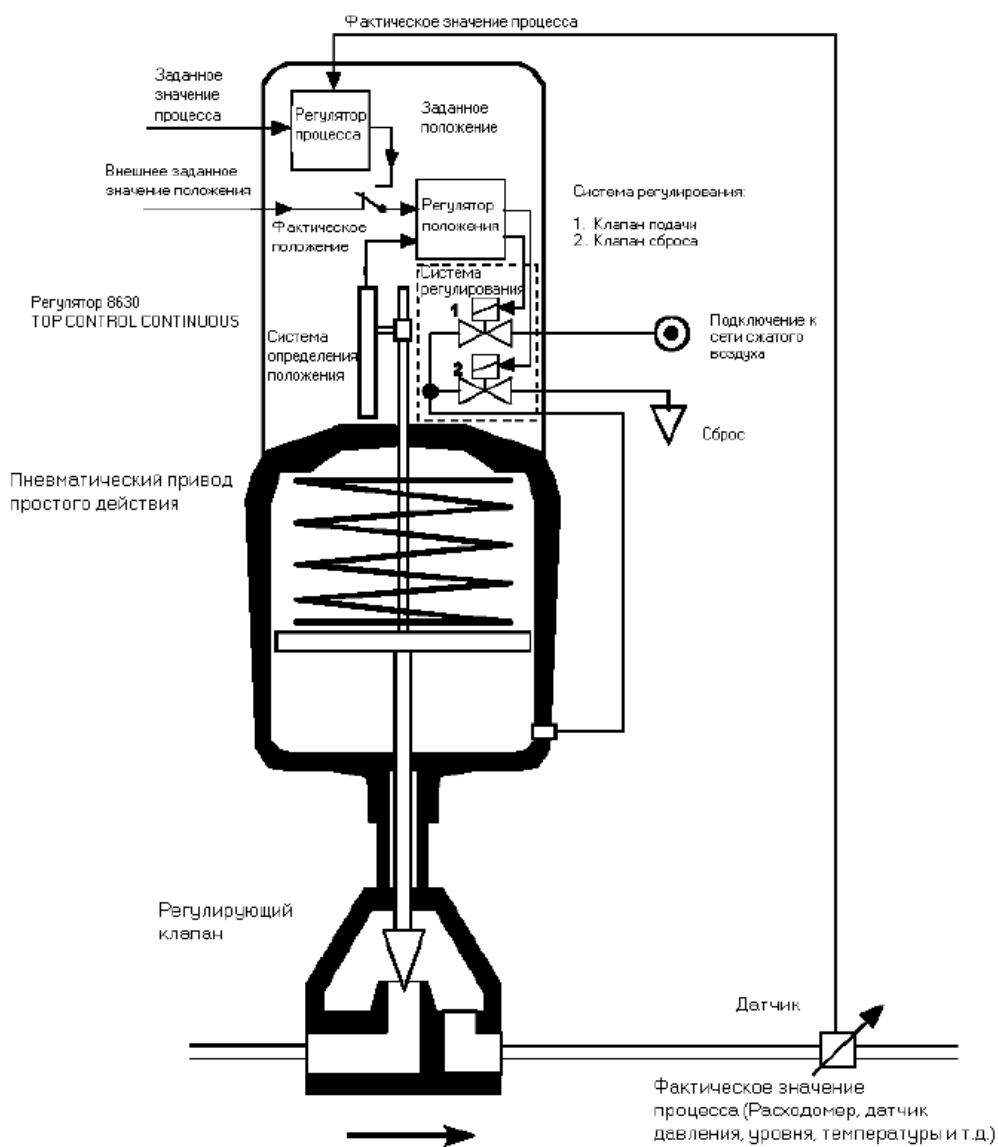


Рис. 6.5. Схема позиционера

Перемещение μ регулирующего органа через канал обратной связи передается в виде сигнала обратной связи ξ , уменьшая результирующий сигнал σ , воздействующий на релейный элемент. При $|\sigma| < X_d$ ИМ отключится, т.е. при каждом изменении $|\varepsilon| > X_d$ ИМ будет перемещать РО, ликвидируя отклонение ε от заданного значения.

Так как сигнал обратной связи $\xi = k_0\mu$, то в установившемся состоянии

$$\sigma = \varepsilon - k_0\mu < X_d.$$

Поскольку зона нечувствительности может быть небольшой, то это выражение приблизительно можно записать как

$$\varepsilon = k_0\mu = 0,$$

откуда

$$W(s) = \frac{1}{k_0}.$$

Таким образом, импульсный регулятор с ИМ, структурная схема которого представлена на рис. 6.6, приближенно реализует П-закон регулирования с коэффициентом передачи

$$k_p = \frac{1}{k_0},$$

и структурная схема регулирования положения клапана будет иметь вид, показанный на рис. 6.6.

При выборе закона регулирования следует иметь в виду то, что применение П-закона регулирования приводит к появлению установившейся ошибки регулирования, которую даже теоретически нельзя полностью исключить.

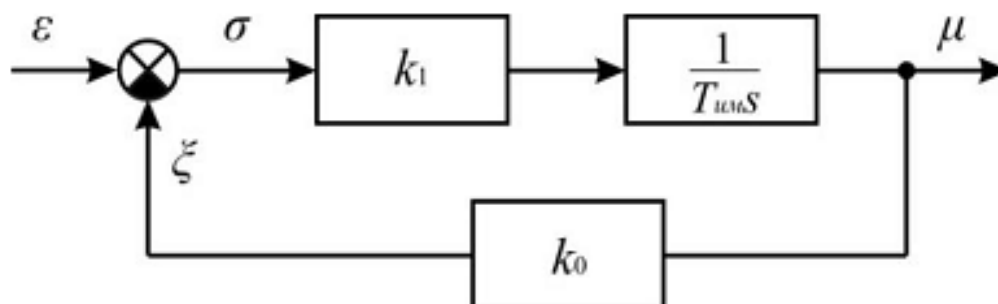


Рис. 6.6. Структурная схема контура регулирования положения клапана

Итоговое испытание. Итоговое испытание предусматривает метрологические испытания измерительных каналов, имитационное испытание всех рабочих циклов технологического процесса в порядке их предполагаемой работы, проверку их безопасности.

Цель итогового испытания – гарантировать, что оборудование работает в соответствии с установленными в технических условиях требованиями.

Оно также предназначено для проверки влияния поврежденного внешнего элемента управления (концевого выключателя, датчика и т.д.).

При приемке каналов измерения АС на вход измерительного канала вместо датчика обычно подается эталонированный сигнал, соответствующий 20, 60, и 90 % шкалы измерения. Результаты обработки серии измерений представляются в виде протокола, выполняемого специально разработанной программой сбора и обработки измерительной информации, а также расчета погрешностей.

При этом оцениваются:

- вариация показаний;
- основная погрешность электрического тракта ИК;
- приведенная погрешность электрического тракта;
- среднее квадратическое отклонение погрешности электрического тракта;
- среднее квадратическое отклонение погрешности датчика;
- среднее квадратическое отклонение погрешности измерительного канала;
- приведенная инструментальная погрешность измерительного канала;
- предельно допустимая инструментальная погрешность измерительного канала;
- предельно допустимая погрешность в соответствии с нормами точности, например, по РД-34.11.321-88 «Нормы точности измерений технологических параметров тепловых электростанций»;
- допустимая инструментальная погрешность измерительного канала.

В заключении указывается предварительный результат (принимается, не принимается) в соответствии с величиной инструментальной погрешности ИК.

На забракованные измерительные каналы составляется акт с отражением причин несоответствия и указывается лицо, ответственное за переналадку ИК.

Для испытаний контуров автоматического регулирования программы загружаются в контроллеры ПЛК и тестируются, насколько это возможно, путем моделирования сигналов на дискретных входах с помощью контактов и на аналоговых входах с помощью переменных сигналов. Данное моделирование используется для исправления программ-

ных ошибок и для существенного уменьшения времени, требуемого на ввод в эксплуатацию.

Для оборудования с электронными регуляторами скорости моделирование должно включать динамическое испытание с использованием двигателей установки или, ввиду их отсутствия, испытательного двигателя, желательного имеющего сопоставимые паспортные характеристики.

Рекомендуется составлять отчет по испытанию, упоминая выполненные настройки (значения) и изменения (программные и аппаратные), а также все элементы, которые не были испытаны или были испытаны частично.

Этот документ поможет упростить выполнение работ по вводу в эксплуатацию.

Схемы, распечатки программ и перечни продукции должны быть изменены с целью предоставления точного описания оборудования, которое будет введено в эксплуатацию.

Перед отгрузкой шкафы и коробки освобождаются от внешних проводов. При необходимости тяжелые детали заклинивают для предохранения рам и шкафов от деформации при транспортировке.

Основания шкафов должны быть тщательно очищены для предотвращения попадания в устройства каких-либо инородных тел (шайб, проводов и т.д.). Испытание – без нагрузки (на холостом ходу).

Данное испытание проводится для того, чтобы проверить, что все устройства (управляющие и сигнальные вспомогательные устройства, датчики, аварийные выключатели и т.д.) правильно установлены, размещены и соединены в соответствии со схемой. Перед началом испытания подача электроэнергии ко всем потребителям должна быть прекращена:

- путем удаления плавких предохранителей, защищающих силовую цепь, из своих гнезд;
- путем подачи питания только на устройства управления, при этом силовые устройства остаются выключенными.

При подаче питания на цепи управления вспомогательное устройство управления пуском должно заблокировать включение контакторов, которыми он управляет, а в более сложном оборудовании – запуск автоматического цикла.

На этом этапе рекомендовано управлять внешними устройствами вручную (особенно устройствами защиты) или моделировать их работу, затем принудительно методично проверять каждое управляющее воздействие, включая воздействия, приводящие к аномальным режимам работы, для проверки эффективности цепей управления, следящих систем, систем безопасности и сигнальных цепей.

Испытание под нагрузкой. Подается питание на силовые цепи для того, чтобы запустить общее испытание под нагрузкой для проверки точности соединений и работы потребителя. Данное испытание может быть дополнено серией добавочных испытаний для проверки автоматического оборудования на надлежащее управление механическими функциями установки.

Успешный ввод в эксплуатацию – это результат работы опытного оператора наряду с использованием полного комплекта документации к оборудованию (состав системы, инструкции по вводу в эксплуатацию, руководства по пользованию устройствами и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектированная автоматизированная система реализуется на основе архитектуры открытых систем *OSE RM*. Профиль АС предусматривает построение АС в соответствии с действующими стандартами информационных систем и средствами автоматизации. Трехуровневая структура АС предусматривает обмен информацией с диспетчерским уровнем через контроллер *Simatic S7-400* фирмы *Siemens*.

Модули ввода аналоговой информации обеспечивают прием сигналов от датчиков с токовым сигналом 4–20 мА и цифровых сигналов.

Модули ввода дискретной информации обеспечивают прием сигналов от контактных или бесконтактных датчиков напряжением 24 В постоянного тока.

Источник электропитания АС резервируется ИБП компании *Powerware*.

Аналоговые и дискретные входы и выходы имеют защиту от наводок и перенапряжений, возникающих в соединительных линиях, в соответствии с нормами МЭК 801-4.

Время обработки сигналов, включающее интервал от появления сигнала на входе модуля ввода информации до появления соответствующего сигнала реакции на выходе модуля вывода информации при работе программ автоматической защиты и регулирование, не превышает 0,5 с.

Время обработки сигналов и появление сообщения на экране – не более 2 с.

Время обновления кадров на экране и регистрации сообщений устройством не более 2 с.

Время передачи управляющего сигнала с клавиатуры не превышает 0,5 с.

Для повышения надежности используются резервированные провода в контрольных кабелях.

В качестве контура заземления используется схема *TN-C* с повторным заземлением нейтрали (ГОСТ Р 50571.1-2009).

Конструкция шкафов УСО имеет необходимое количество шин заземления всех входящих в него экранов кабелей и жил заземления.

Клеммники входных и выходных цепей рассчитаны на присоединение медных проводов сечением до 2,5 мм².

Клеммные сборки для подключения искробезопасных цепей отделены от клеммных сборок для подключения обычных цепей и выделены синим цветом.

Датчики аналоговых сигналов могут находиться на расстоянии до 200 м от места установки модулей ввода/вывода.

Допускаемое расстояние от удаленных объектов до контроллеров должно быть не более 500 м.

В соответствии с техническими условиями на проектирование системы автоматизации проектом предусматривается применение приборов и средств автоматизации с электрическими унифицированными сигналами.

Все примененные в проекте приборы и средства автоматизации отечественного и зарубежного производства выбраны с учетом их безопасного использования и имеют серийное изготовление.

Для местного контроля температуры применены термометры биметаллические производства компании «*МЕТЕР*» (г. Москва).

Для дистанционного контроля температуры применены термопреобразователи сопротивления взрывозащищенного исполнения ТСП-Метран производства ПГ «Метран» (г. Челябинск) и датчики температуры TR 11 производства ООО «Эндресс+Хаузер» (г. Москва).

Для контроля за отклонением давления применен манометр электроконтактный ДМ 2005СгЕх производства АООТ «Манотомь» (г. Томск).

Для измерения уровня продукта в аппаратах применен уровнемер микроволновый *Micropilot M FMR240* производства ООО «Эндресс + Хаузер» (г. Москва).

Все приборы автоматики, устанавливаемые в помещении операторной, рассчитаны на работу при температуре от +10 до +40 °С и относительной влажности до 90 %. Приборы, устанавливаемые в отделении насосов, на открытых площадках и вне помещения, устойчивы к работе в диапазоне температур от –40 до +50 °С.

Местные приборы контроля и преобразовательные датчики размещаются непосредственно на технологическом оборудовании. Закладные конструкции и место их установки для приборов и преобразователей приведены в чертежах марки ЗК4.

Аппаратурные устройства имеют средства самоконтроля, обеспечивающие тестовый контроль:

- функционирования активных элементов;
- программ пользователя;
- интерфейсных магистралей;
- функционирования всех модулей ввода/вывода;
- резервного источника питания.

При обнаружении неисправности система автоматизации индицирует характер неисправности и место и формирует сигналы, которые могут быть использованы для принятия мер по устранению последствий отказа.

АРМ диспетчера размещен в операторной.

Кабели сигнализации, управления и питания прокладываются экранированными с медными жилами. Измерительные проводки выполнены кабелями типа «витая пара».

В местах, подверженных механическим воздействиям, кабели прокладываются в защитных трубах и по строительным опорам в лотках.

Состояние и параметры работы технологического оборудования отображаются на экране *АРМ* в реальном масштабе времени на мнемосхемах.

Для отображения информации используются видеокadres, всплывающие окна, тренды, графики и т.п.

Для отображения изменения состояния используется пульсация соответствующих цветов и символов.

Система обеспечивает просмотр аналоговых значений в виде оперативных и исторических трендов. В оперативных трендах должна отображаться информация в реальном времени за предшествующий период до двух часов.

Исторические тренды обеспечивают просмотр информации до месяца.

Система автоматизации обеспечивает:

- масштабирование экранов трендов;
- вывод одновременно не менее 3 графиков на экран по выбору оператора;
- выбор масштабов по значению контролируемой величины и времени.

В системе формируется общий журнал событий и аварий:

- журнал событий для регистрации изменений в технологическом процессе, включающий аварийные и предаварийные ситуации, информацию о невыполнении команд управления, неисправности оборудования или средств измерения и т.п.;

- системный журнал, в который заносятся сообщения о неисправностях и сбоях комплексов технических средств, формируемые в процессе обработки диагностических программ.

При просмотре журналов обеспечивается выбор и сортировка событий по следующим признакам:

- времени возникновения;
- типу события аварии;
- текстовому шаблону.

Функции отображения предусматривает режим «помощь».

На экране отображаются тревожные и аварийные сообщения.

Значения контролируемых параметров воспроизводятся вблизи точки измерения на видеокадре системы. Все команды, подаваемые с рабочих станций операторов, сигналы изменения состояния и аварийные сообщения могут регистрироваться на устройстве печати. Система автоматизации обеспечивает составление сводок текущих измерений, текущего состояния оборудования, перечень отказов, времени наработки основного и вспомогательного оборудования.

Блок ручного управления технологическим оборудованием предназначен для предотвращения аварии оборудования при выходе из строя средств микропроцессорной автоматики.

Блоки ручного управления технологическим оборудованием установлены по месту.

На блоке ручного управления расположены кнопки аварийного останова насосной, отключения отдельных насосных агрегатов и управления задвижками, воздействующие непосредственно на исполнительные устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 606 с.
2. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП: метод. пособие. Кн. 1 / А.Л. Нестеров. – М.: Деан, 2006. – 552 с.
3. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка: учеб.-практ. пособие / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 926 с.
4. Андреев Е.Б. Программные средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности: учеб. пособие / Е.Б. Андреев, В.Е. Попадько. – М.: Нефть и газ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 268 с.
5. Алиев И.И. Кабельные изделия: справочник / И.И. Алиев. – 3-е изд., испр. – М.: Радиософт, 2009. – 224 с.
6. Конюх В.Л. Проектирование автоматизированных систем производства: учеб. пособие / В.Л. Конюх. – М.: Абрис, 2012. – 310 с.
7. Андреев Е.Б. Технические средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности / Е.Б. Андреев, В.Е. Попадько. – М.: Нефть и газ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 272 с.
8. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие / А.С. Ключев [др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
9. Веревкин А.П. Технические средства автоматизации. Исполнительные устройства: учеб. пособие / А.П. Веревкин, В.Ф. Попков. – Уфа: Изд-во УНИ, 1996. – 95 с.
10. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учеб. пособие / В.Ф. Комиссарчик. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2001. – 247 с.
11. 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.
12. 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.

13. ГОСТ 21.408-2013. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 42 с.

14. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10000-3-99. Информационная технология. Основы и таксономия международных стандартизованных профилей. Ч. 3. Принципы и таксономия профилей среды открытых систем (эталонная модель среды открытых систем *OSE/RM*). – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 44 с.

15. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2014. – 30 с.

16. РМГ 62-2003. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации. – М.: ВНИИМС Госстандарта России, 2003. – 17 с.

17. ГОСТ Р МЭК 61512 Управление серийным производством. Часть 1. Модели и терминология. ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 70 с.

18. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10000-3-99. Информационная технология. Основы и таксономия международных стандартизованных профилей. Ч. 3. Принципы и таксономия профилей среды открытых систем (эталонная модель среды открытых систем *OSE/RM*). – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 44 с.

19. ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – М.: Госстандарт СССР, 1992. – 15 с.

20. Стандарт Компании ОАО «НК «Роснефть» № ПЗ-04 СД-0038 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам», версия 2 (введен в действие с 25.07.2014 г.).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Отделение автоматизации и робототехники
Направление подготовки: 150304 «Автоматизация технологических
процессов и производств»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ по дисциплине «Проектирование автоматизированных систем»

Тема работы

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата

Руководитель КП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Томск – 20__ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа _____

Направление подготовки _____

Отделение школы _____

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта

Студенту:

Группа	ФИО

Тема КП: _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта проектирования; (требования к продукту к АС ; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, т. д.).</i></p>	
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка ТЗ 2. Описание технологического процесса (объекта управления) 3. Описание объема автоматизации. 4. Описание архитектуры АС и разработка структурной схемы АС 5. Разработка информационного обеспечения 6. Выбор ПЛК и КИПиА. Подготовка листов опроса 7. Выбор закладных для КИП. 8. Проектирование схемы автоматизации по ГОСТ Р 21.48-2013 и ANSI S 5.1 9. Выбор исполнительных устройств. 10. Проектирование схемы внешних соединений 11. Разработка блок схем автоматизации 12. Разработка и исследование САР. 13. Разработка одной экранной формы и дерева экранных форм 14. Разработка программы испытаний одного из каналов измерения 15. Заключение
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Функциональная схема технологического процесса 2. Структурная схема 3. Таблица объема автоматизации 4. Схема автоматизации (по ГОСТ и ANSI) 5. Блок схема автоматизации. 6. Экранные формы.

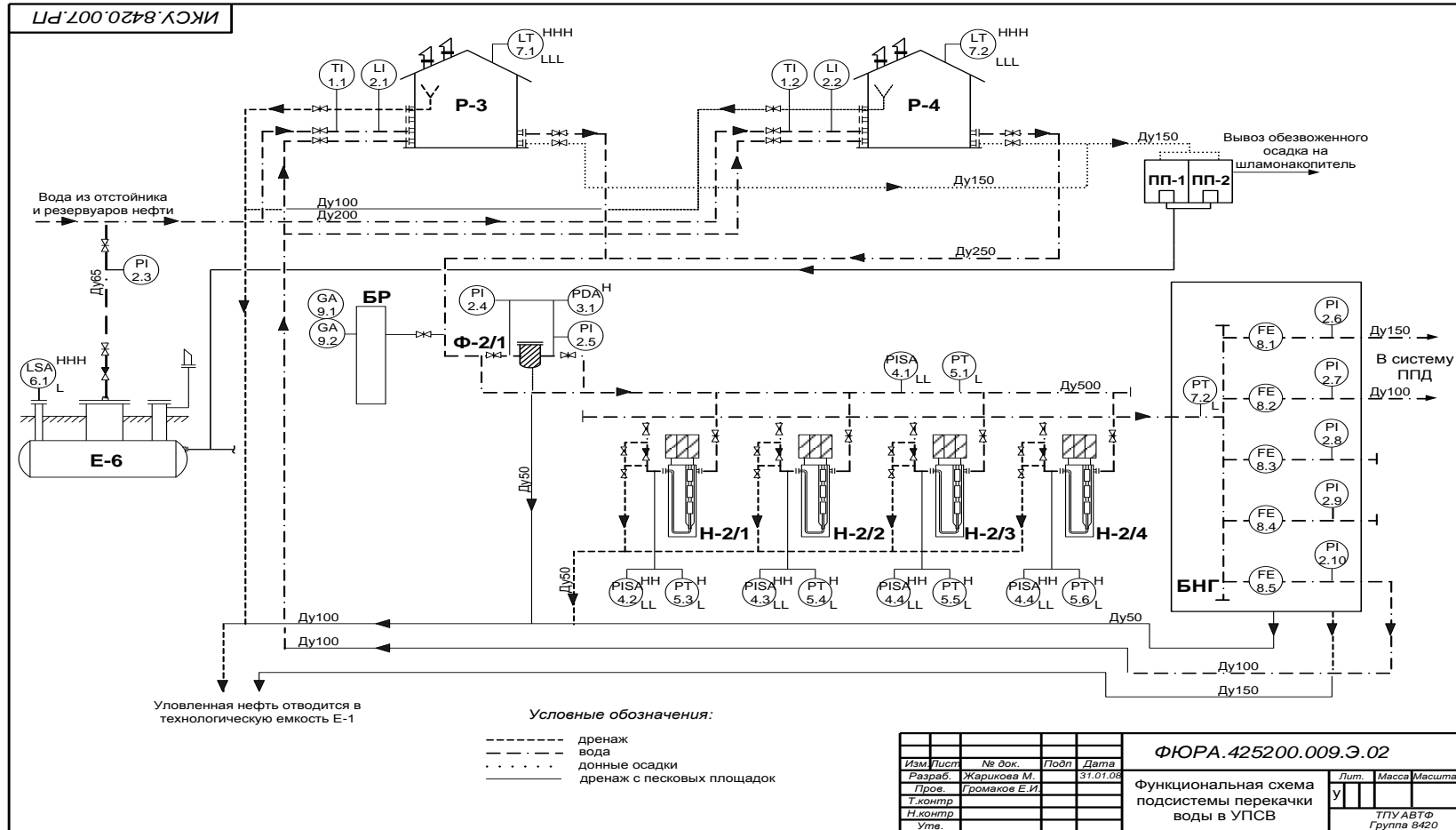
Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

Функциональная схема технологического процесса



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица каналов измерения, сигнализации и управления (объем автоматизации)

ФЮРА.425280.001.ЭП.02									
Наименование сигнала	Идентификатор сигнала	Диапазон измерения	Единица измерения	Тип сигнала	Технологическое	Предупреждение		Аварийный	
						min	max	min	max
Давление воды на входе насосов	PRS_IMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	-	-	-	-	-	-
Давление воды на входе насосов	PRS_IMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	4-20 мА	-	-	-	-	-
Давление воды на входе насосов Сигнализация	PRS_IMP_WORK_AVARL	0, 24 В	BOOL	DI	+	-	-	-	-
Давление воды на входе насосов	PRS_IMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	4-20 мА	-	-	-	-	-
Температура обмотки двигателя	TEM_MOT_WORK_WNDG	30...+150	°С	4-20 мА	-	-	-	-	-
Положение двигателя	VRT_MOT_WORK	0...100	Гц	4-20 мА	-	-	-	-	-
Давление воды на выходе насосов	PRS_OMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	4-20 мА	-	-	-	-	-
Давление воды на выходе насосов Сигнализация	PRS_OMP_WORK_AVARL	0, 24 В	BOOL	DI	+	-	-	-	-
Давление воды на выходе насосов	PRS_OMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	-	-	-	-	-	-
Расход воды на выходы КНС	FLW_OMP_WORK_WTR	0...100	м ³ /ч	4-20 мА	-	-	-	-	-
Вибрация двигателя	VRT_MOT_WORK	0...100	Гц	4-20 мА	-	-	-	-	-
Температура обмотки двигателя	TEM_MOT_WORK_WNDG	30...+150	°С	4-20 мА	+	-	-	-	+
Уровень масла в маслобаках маслосистемы	LVL_OIS_WORK_OIL	0...1000	мм	4-20 мА	-	-	-	-	-
Управляющий сигнал уровня масла в маслобаках маслосистемы	LVL_OIS_UPR_OIL	0...100	%	4-20 мА	-	-	-	-	-
Давление воды на входе насосов	PRS_IMP_WORK_WTR	0,0105...25	МПа	4-20 мА	-	-	-	-	-
Управляющий сигнал давления воды на входе насосов	PRS_IMP_UPR_WTR	0...100	%	4-20 мА	-	-	-	-	-

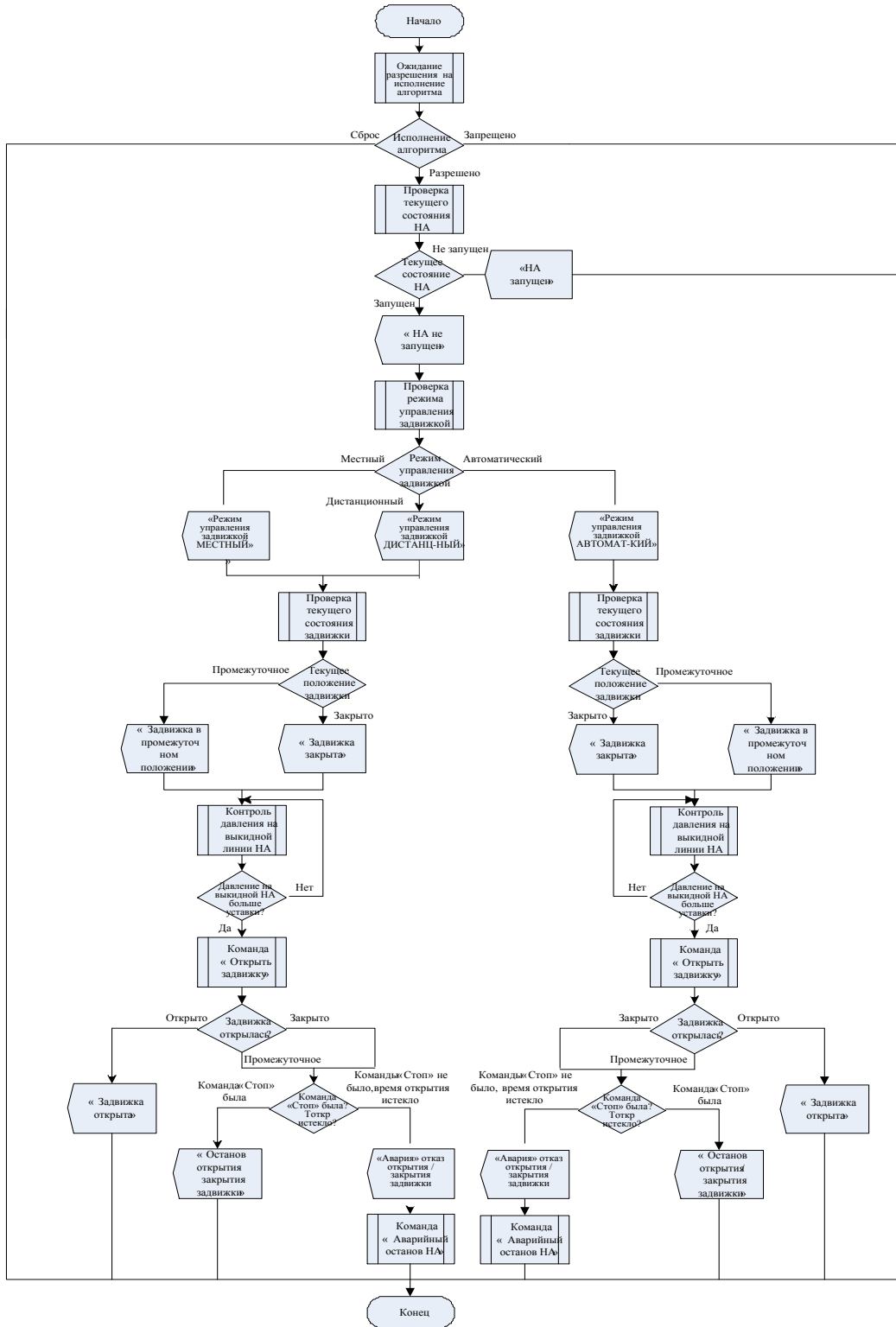
Изм.	Исполн.	№ док.	Лист	Дата	ФЮРА.425280.001.ЭП.02	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.	Алматы							
Прое.	Грозный							
У.контр.								
И.контр.								
Утв.					Таблица перечня вход/выходных сигналов	у		
						ТТУ ИЦИТР ОАР Группа 3-8752		

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

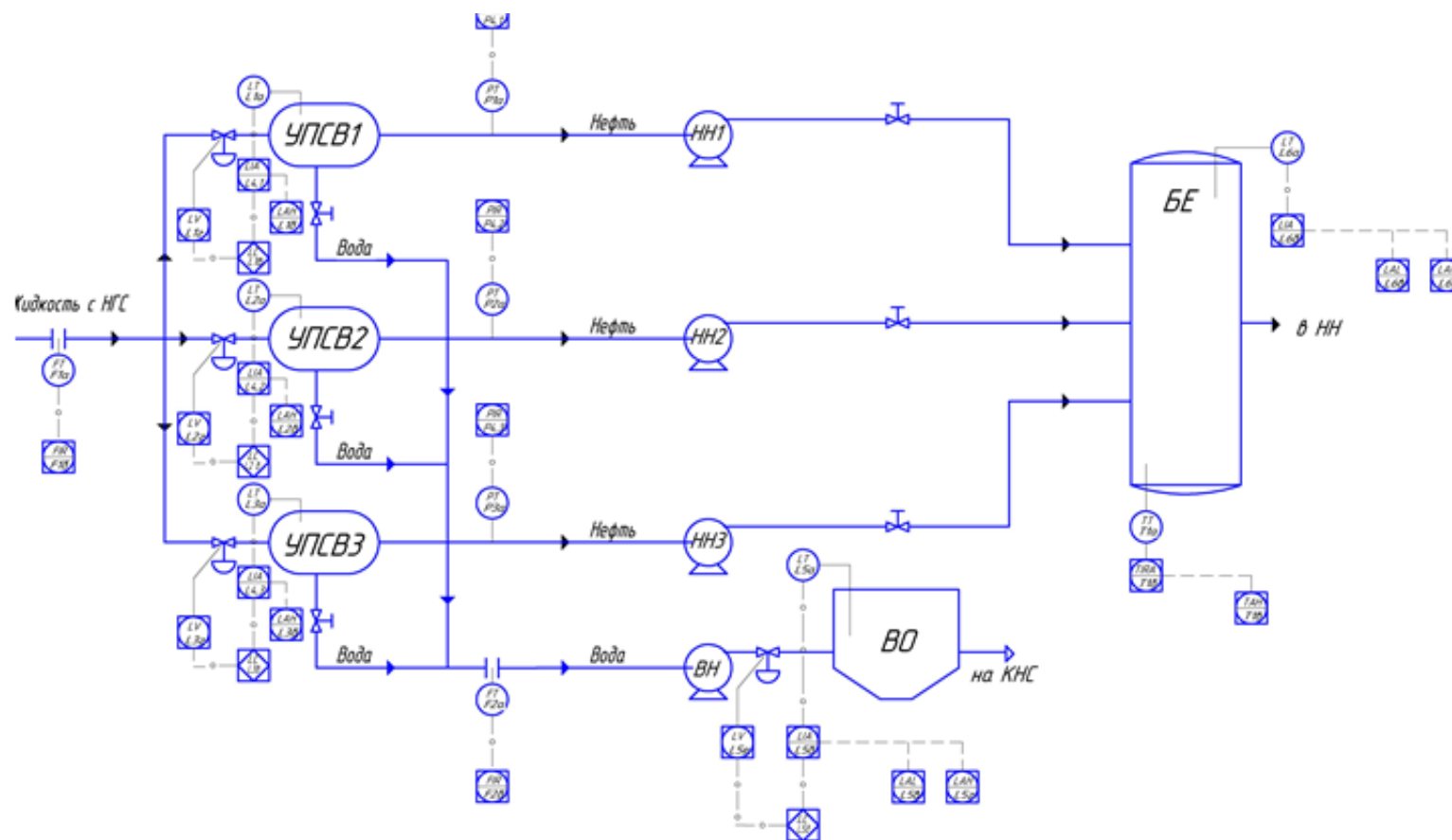
Ориентировочная номенклатура базовых стандартов программного обеспечения для профиля АС

№ документа	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 802.3 u	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/mejdunarodnyerekomendacii-itu-t--standarty-etsi.html	Профиль защиты информации	http://www.ntc-sss.ru/mejdunarodnyerekomendacii-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	–

Блок-схема алгоритма работы 3-позиционной электрораздвижки

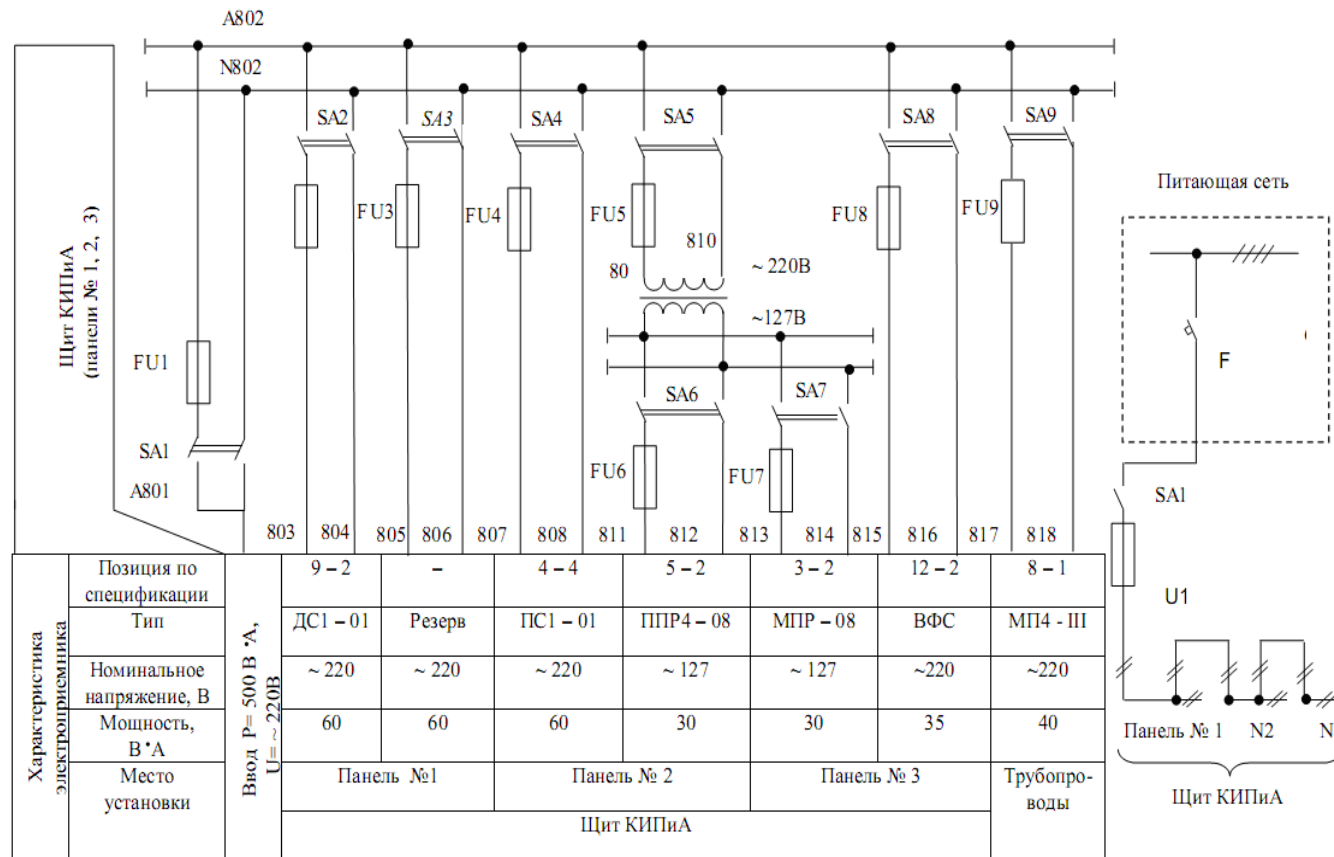


ПРИЛОЖЕНИЕ 8



ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Пример совмещенной схемы, питающей и распределительной сетей



ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Марки кабелей

№ п/п	Марка кабеля	Описание
1	КМВЭВ-3 2×2×0.7	Четырехжильный монтажный кабель парной скрутки с поливинилхлоридной изоляцией, общим экраном из фольгированной пленки и наружной оболочкой из поливинилхлоридного пластика. Предназначен для работы при рабочем напряжении до 100 В переменного тока, частотой до 10 кГц при температуре от –50 до +70 °С. Количество пар / число проводов в паре / номинальный диаметр жилы – 2/2/0,7 мм. Диаметр по изоляции 1,04 + 0,02 мм. Максимальный наружный диаметр кабеля – 8,1 мм. Расчетная масса – 52,6 кг/км
2	КВВГ 7×1,0	Кабели контрольные с оболочкой и изоляцией из ПВХ-пластиката. Напряжение – до 0,66 кВ
3	КВВГ 4×1,0	
4	ВВГ 3×1.5	Кабель с медными токопроводящими жилами, с изоляцией из ПВХ-пластиката, в оболочке из ПВХ-пластиката. Предназначен для передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках. Для прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, на специальных кабельных эстакадах, в блоках, а также для прокладки на открытом воздухе. Кабели не рекомендуются для прокладки в земле (траншеях). Кабель ВВГ рассчитан на напряжение 0,66...1,6 кВ. Соответствует ГОСТ 16442-80, ТУ16.К71.322-2002 (5-жильные)

Информационные потоки АС

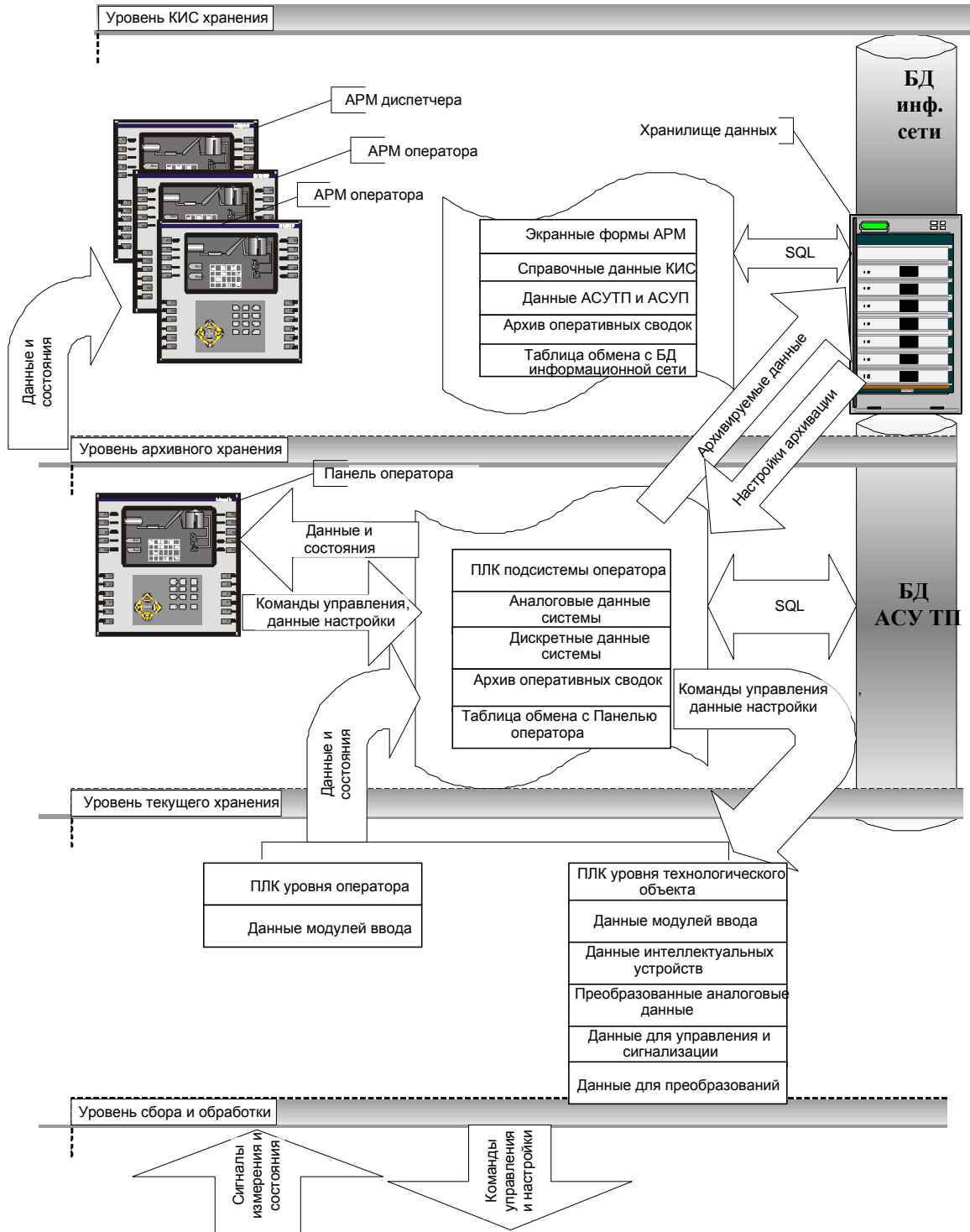


Схема внешней проводки по ГОСТ 21

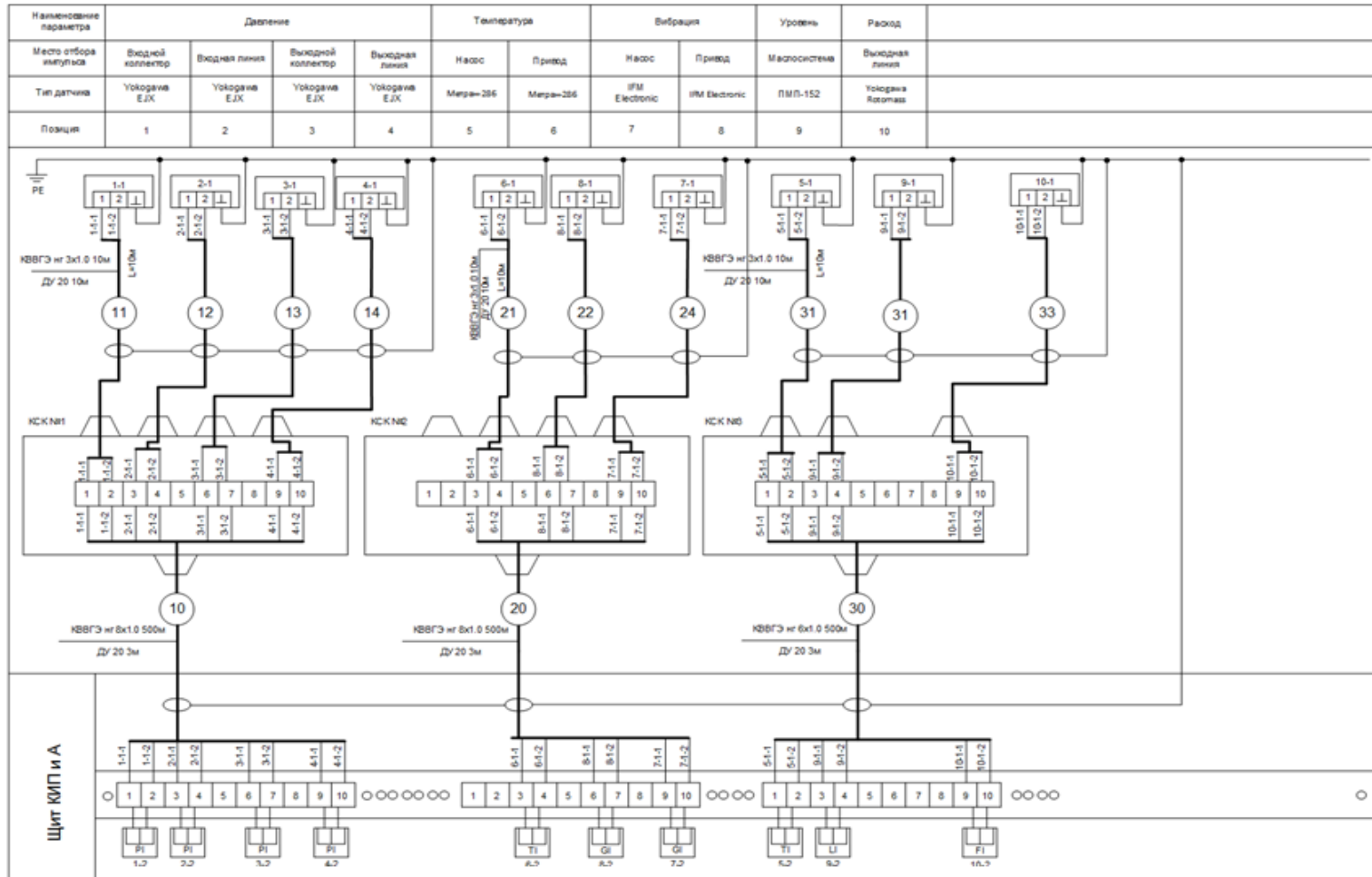


Схема соединений АС по стандарту ANSI

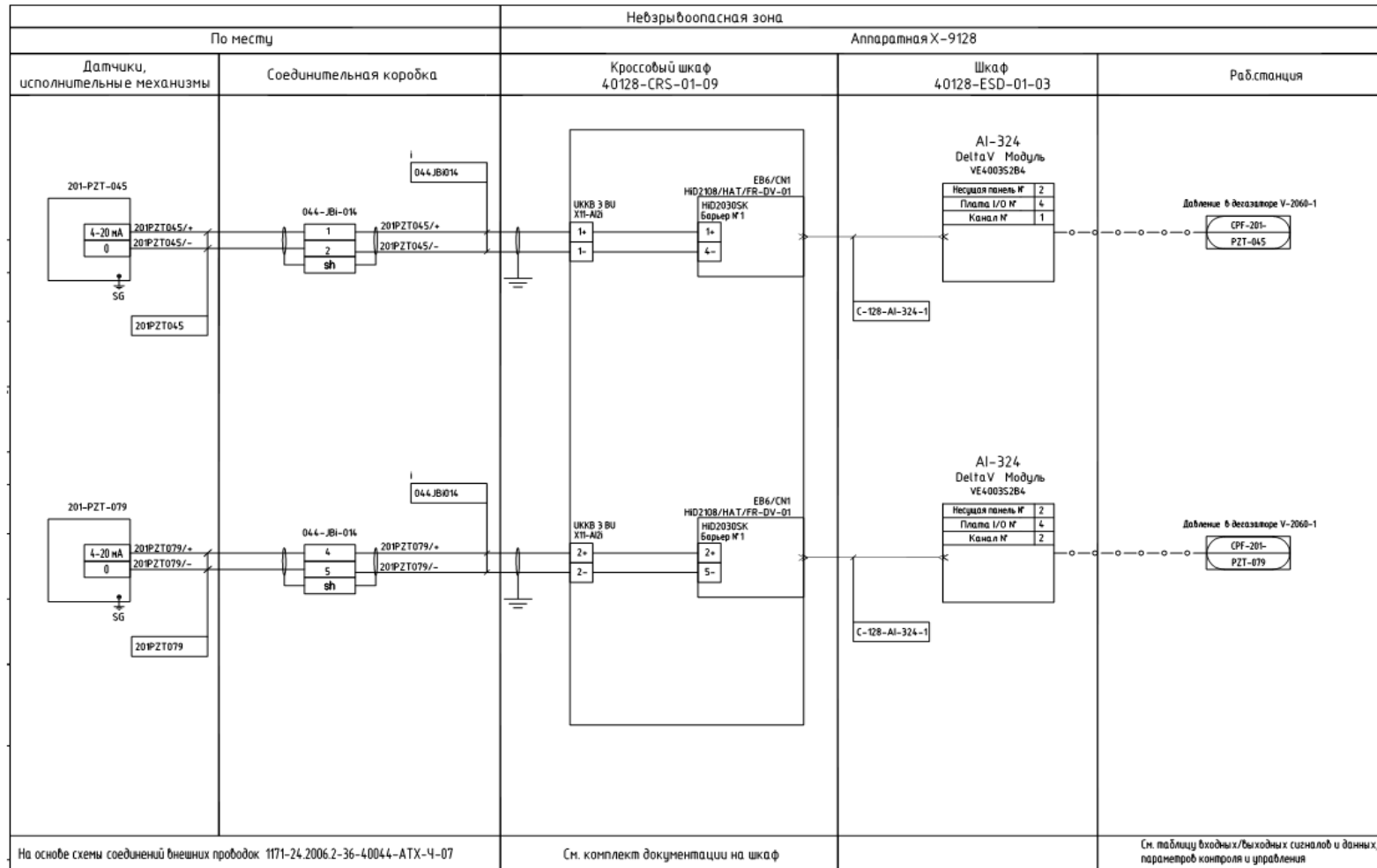
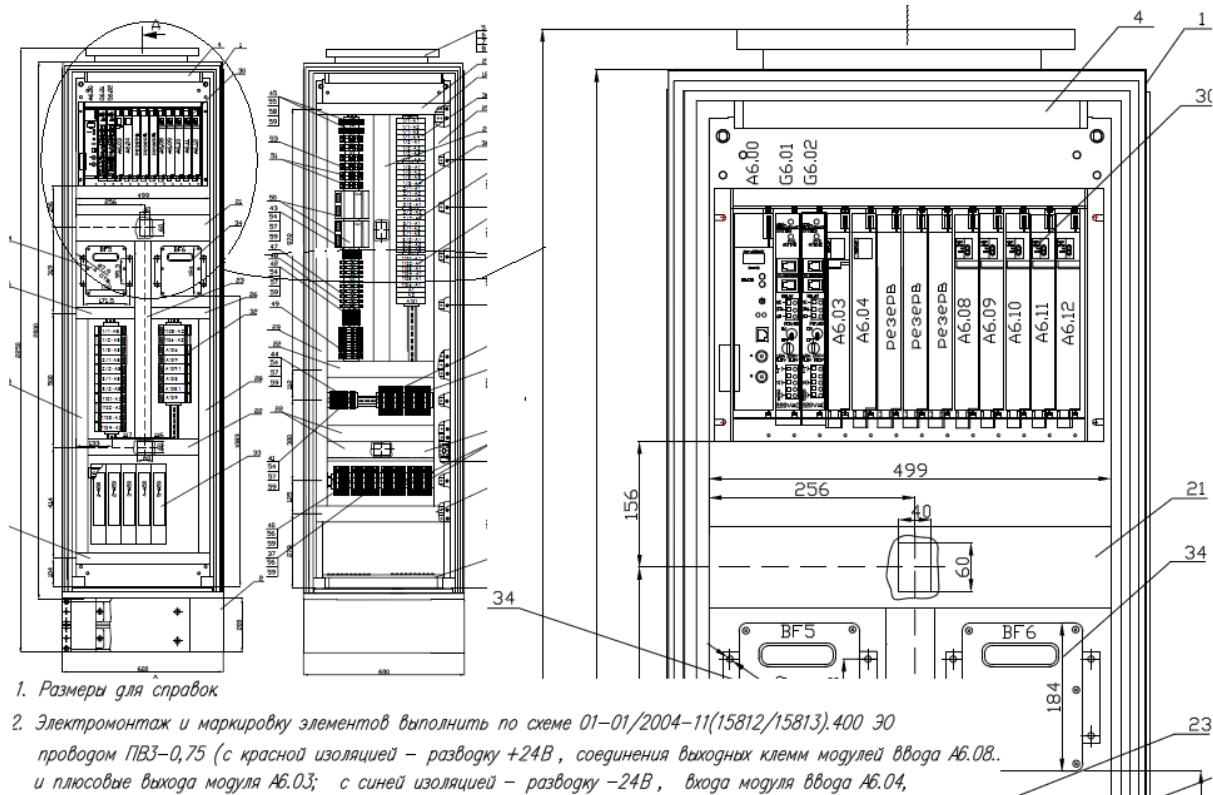
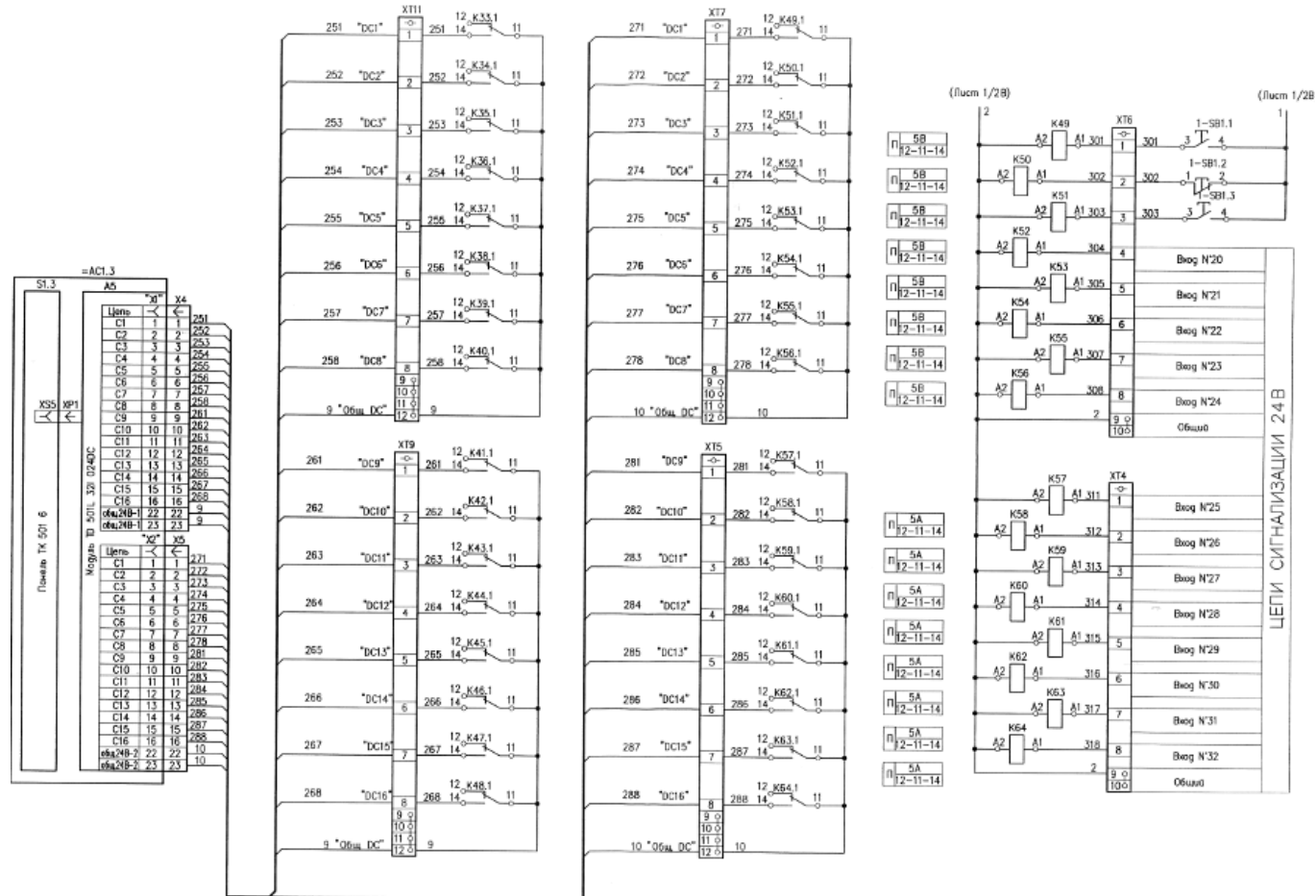


Схема щита (шкафа) АС

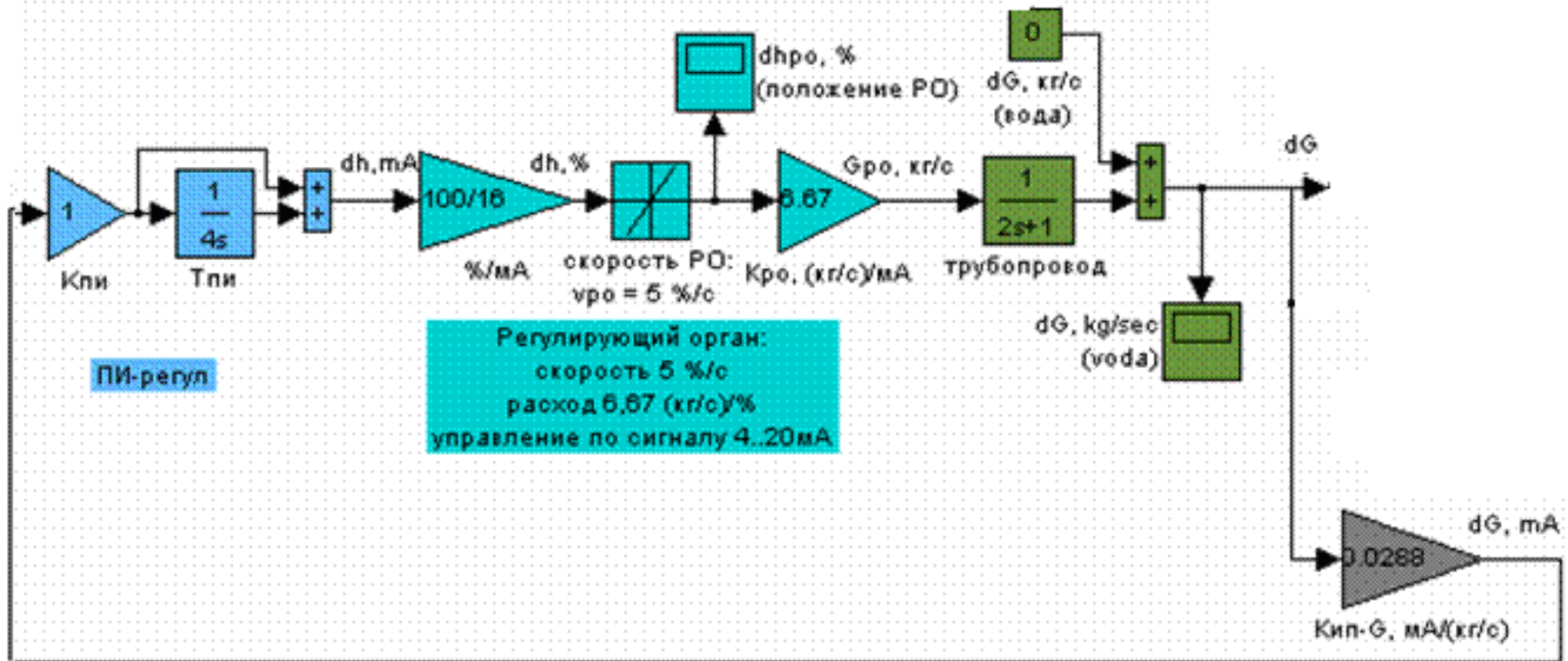


1. Размеры для справок
2. Электромонтаж и маркировку элементов выполнить по схеме 01-01/2004-11(15812/15813).400 ЭО проводом ПВЗ-0,75 (с красной изоляцией – разводку +24В, соединения выходных клемм модулей ввода А6.08.. и плюсовые выхода модуля А6.03; с синей изоляцией – разводку -24В, входа модуля ввода А6.04, и минусовые выхода модуля А6.03; входные клеммы ХТ30, 6ХТ4, 6ХТ8..6ХТ12, проводом с голубой изоляцией) проводом ПВЗ-1,5 и кабелем ПВС3х1,5 выполнить разводку 220В
3. Заземление производить проводами заземления
4. Кабели и провода вне коробов фиксировать на профилях или каркасе при помощи кабельных стяжек

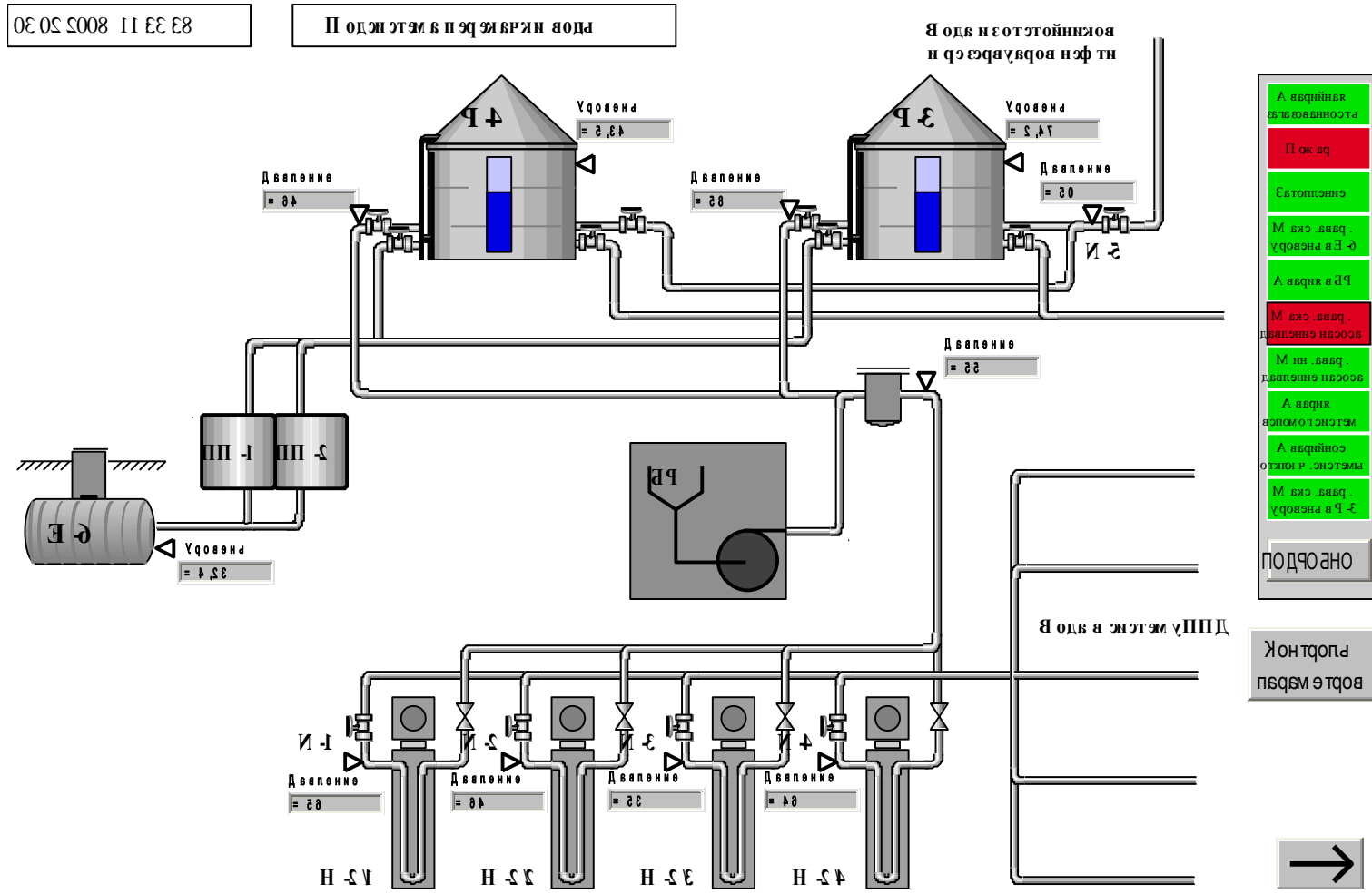
Схема щитовых соединений



Модель АС управления



Экранная форма управления технологическим процессом



00 00 0008 11 00 00 00 00

Подсистема в п р е д л а ж е н и я

В о д н ы й м е с т н ы й в ы д о в

ПРИЛОЖЕНИЕ 19

Схема электрического питания щита (шкафа)

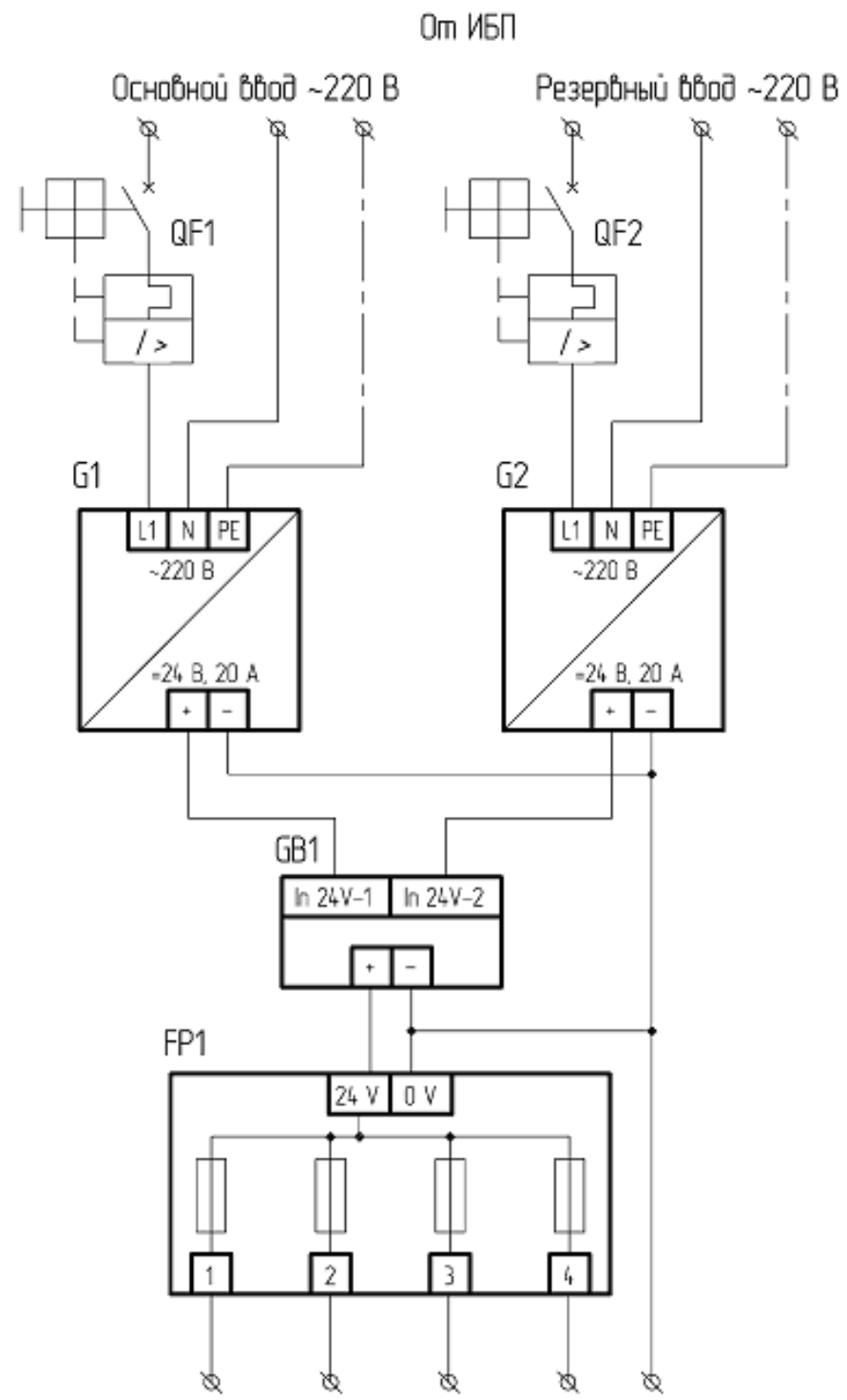
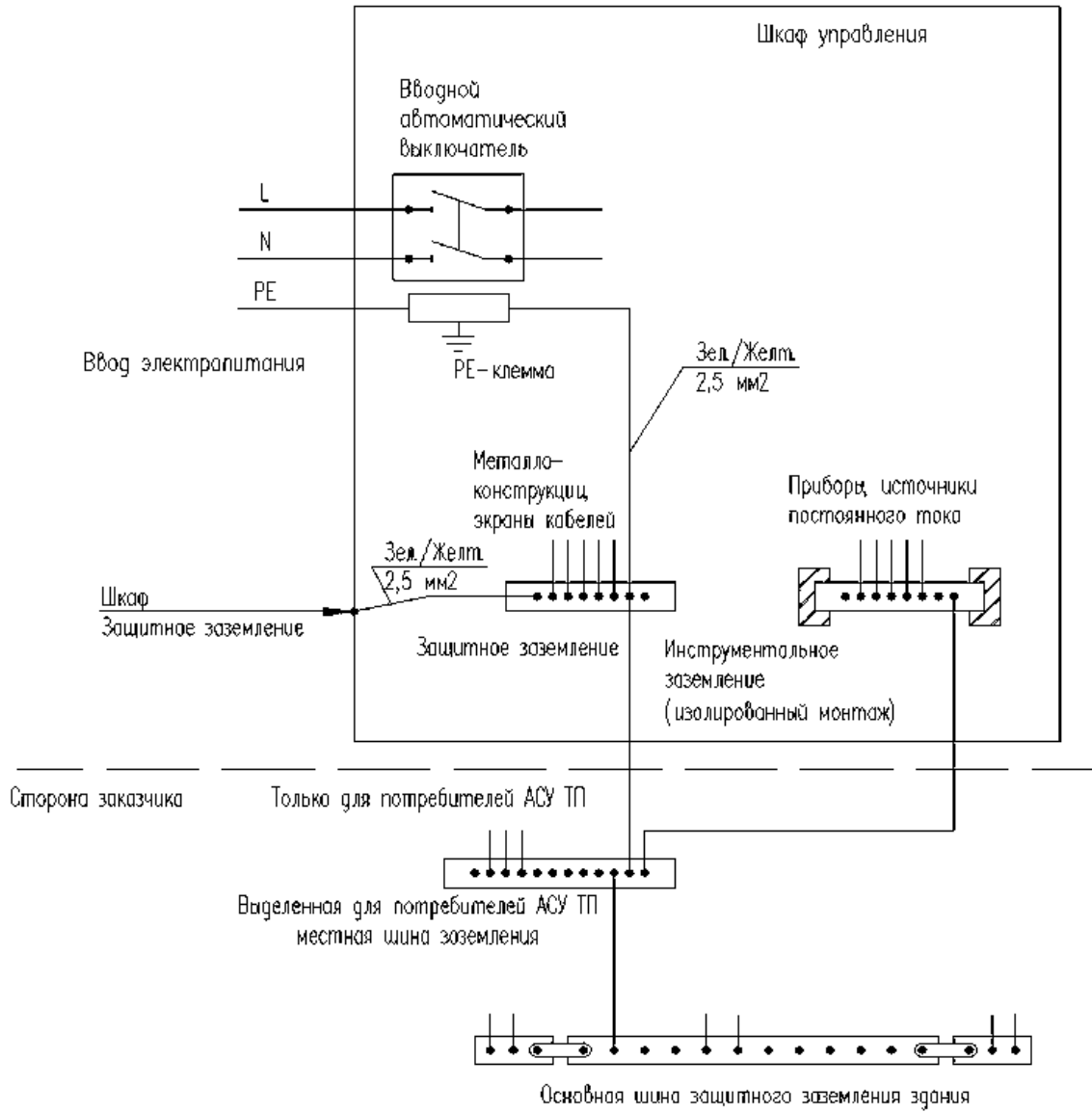


Схема заземления шкафа автоматики



ПРИЛОЖЕНИЕ 21

Опросный лист для выбора датчика температуры Rosemount

* - поля, обязательные для заполнения!

Для получения подсказки по выбранному полю нажмите F1!

Общая информация	
Предприятие *:	Дата заполнения:
Контактное лицо *:	Тел. / факс *:
Адрес *:	E-mail:
Опросный лист №	Позиция по проекту (тэг):
Количество *:	
Параметры измеряемой и окружающей среды	
Измеряемая среда:	Фазовое состояние: <u>жидкость</u>
Диапазон измеряемых температур, °С*	от до
Диапазон калибровки сенсора, °С*	от <u>50</u> до <u>450</u>
Давление измеряемой среды, кгс/см ² -изб*	от до
Скорость потока измеряемой среды, м/с	от до
Диапазон окружающих температур, °С	от до
Исполнение по взрывозащите: <input type="checkbox"/> общепромышленное <input type="checkbox"/> взрывонепроницаемая оболочка (Exd) <input type="checkbox"/> искробезопасная цепь (Exi)	
Первичный преобразователь (ПП)	
<input checked="" type="checkbox"/> Требуется *	
Тип чувствительного элемента (ЧЭ) *	<input checked="" type="checkbox"/> Термометр сопротивления ; <input type="checkbox"/> Термопара
Номинальная статическая характеристика	<input checked="" type="checkbox"/> Pt100 ; (другое) ; <input type="checkbox"/> K ; <input type="checkbox"/> N ; <input type="checkbox"/> J ; (другое)
Рабочий спай	<input type="checkbox"/> изолированный ; <input type="checkbox"/> неизолированный
Схема соединений	<input type="checkbox"/> 2 ; <input type="checkbox"/> 3 ; <input checked="" type="checkbox"/> 4-х проводная ; 2-х проводная
Количество чувствительных элементов	<input checked="" type="checkbox"/> 1 ; <input type="checkbox"/> 2
Глубина погружения (длина монтажной части) *	мм
Способ крепления первичного преобразователя	<input checked="" type="checkbox"/> ½" NPT ; (другая резьба) ; <input type="checkbox"/> Без резьбы
Защитная гильза	
<input checked="" type="checkbox"/> Требуется *	
<input type="checkbox"/> Трубчатая (D=9..12мм) ; <input checked="" type="checkbox"/> Литая коническая (D=17..26,5мм) ; <input type="checkbox"/> Литая вварная ; <input type="checkbox"/> Без защитной гильзы	
Способ установки на объекте*: <input checked="" type="checkbox"/> Резьба <u>M20x1,5</u> ; <input type="checkbox"/> Фланец ; <input type="checkbox"/> Вварной	
Соединительная головка	
<input checked="" type="checkbox"/> Требуется *	
Материал соединительной головки	<input checked="" type="checkbox"/> Алюминиевый сплав ; <input type="checkbox"/> Нержавеющая сталь
Резьба кабельного ввода	<input checked="" type="checkbox"/> M20x1,5 ; <input type="checkbox"/> ½" NPT ; <input checked="" type="checkbox"/> Требуется кабельный ввод
Степень защиты от воздействия пыли и воды	<input checked="" type="checkbox"/> IP68 ; <input type="checkbox"/> IP65
Наличие индикации	<input checked="" type="checkbox"/> Требуется ; <input type="checkbox"/> Не требуется
Измерительный преобразователь (ИП)	
<input checked="" type="checkbox"/> Требуется *	
Тип монтажа*	<input checked="" type="checkbox"/> В соединительную головку ПП ; <input type="checkbox"/> На DIN рейку ; <input type="checkbox"/> На кронштейн
Выходной сигнал*	<input checked="" type="checkbox"/> 4-20+HART ; <input type="checkbox"/> Foundation Fieldbus ; <input type="checkbox"/> HART Wireless ; <input type="checkbox"/> Profibus PA
Предел допускаемой основной погрешности	
Первичного преобразователя (ПП)	Класс допуска – 1 для Термопары, <input checked="" type="checkbox"/> А или <input type="checkbox"/> В – для Термометра сопротивления
Калибровка	<input checked="" type="checkbox"/> по 3-м точкам – стандартно или <input type="checkbox"/> по 5-ти точкам
Измерительного преобразователя (ИП)	± °С
Сборки ПП+ИП	± °С
Дополнительные требования (примечания)	

Учебное издание

ГРОМАКОВ Евгений Иванович
ЛИЕПИНЬШ Андрей Вилнисович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ

Учебное пособие

Научный редактор
*кандидат технических наук,
доцент ОАР ИШИТР
Филипас А.А.*


В авторской редакции

Компьютерная верстка *О.А. Гончарук*



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
Сертифицирована в соответствии с требованиями 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru