

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано
Учебно-методическим объединением
по образованию в области автоматизации технологических
процессов, производств и управления в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и
производств» (Компьютерная мехатроника)

Витебск
2026

УДК 681.5
ББК 30.2-5-05
Д 46

Составители:

А. А. Кузнецов, С. А. Клименкова,
А. М. Науменко, К. Н. Ринейский, А. М. Самусев

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
УО «ВГТУ», протокол № 10 от 17.04.2025.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 19.12.2025.

Кузнецов, А. А.

Д 46 **Дипломное проектирование** : учебное пособие / сост.
А. А. Кузнецов, С. А. Клименкова, А. М. Науменко, К. Н. Ринейский,
А. М. Самусев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2026. – 153 с.
ISBN 978-985-481-806-1

Учебное пособие является руководством к выполнению дипломного проекта для студентов специальностей 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» (Компьютерная мехатроника), содержит перечень разделов, которые необходимы для выполнения дипломного проекта, освещает вопросы подготовки к выполнению, приводит примеры построения автоматизированных систем управления технологическим процессом на основе вышеупомянутого.

УДК 681.5
ББК 30.2-5-05

ISBN 978-985-481-806-1

© УО «ВГТУ», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОРГАНИЗАЦИЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА	6
2 ТЕМАТИКА И СТРУКТУРА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.....	8
2.1 Основные требования.....	8
2.2 Требование к тематике.....	8
2.3 Типовая тематика дипломного проекта	9
2.4 Расчетно-пояснительная записка	10
2.5 Структура расчетно-пояснительной записки	11
3 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА	19
4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ	20
5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	25
5.1 Структура систем управления.....	25
5.2 Выполнение структурных схем автоматизации (схем функциональной структуры)	29
6 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ	31
6.1 Общие положения и правила выполнения.....	31
6.2 Изображение технологического оборудования, приборов и средств автоматизации	32
6.3 Правила построения условных обозначений приборов и средств автоматизации в схемах	38
6.4 Функциональные признаки приборов	39
6.5 Графическое выполнение функциональных схем.....	46
7 ВЫБОР И РАСЧЁТ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ.....	49
7.1 Выбор датчиков, основные принципы и критерии выбора.....	49
7.2 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы.....	50
7.3 Унифицированные аналоговые сигналы в системах автоматики	56
7.4 Выбор контроллера и модулей ввода/вывода.....	61
7.5 Устройства сопряжения контроллера с объектом управления.....	65
7.6 Выбор по техническим характеристикам контроллера.....	68
7.6.1 Выбор контроллера по характеристике каналов ввода/вывода	70
7.6.2 Модульность структуры контроллера.....	74
7.6.3 Соответствие контроллера Международным стандартам	74
7.6.4 Выбор контроллера по наличию связи с верхним уровнем систем управления.....	75
7.6.5 Показатели надежности и экономические показатели	76
7.7 Выбор исполнительных устройств	82
8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	87
8.1 Структура схем	87

8.2 Буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах	96
8.3 Правила построения обозначений	98
9. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ.....	108
9.1 Показатели надёжности систем.....	111
9.2 Принципы описания надёжности АСУТП.....	116
9.3 Методы повышения надёжности автоматических систем	121
10 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ.....	125
10.1 Правила выполнения схем	129
10.2 Правила применения символов.....	131
11 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	135
12 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ	138
ЛИТЕРАТУРА.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие является первичным источником информации, необходимым студентам для самостоятельного выполнения дипломного проекта по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств (Компьютерная мехатроника)». Они разработаны на основании учебного плана специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств (Компьютерная мехатроника)».

Учебное пособие определяет требования к организации и проведению дипломного проектирования, содержат тематику и порядок формирования тем дипломных проектов, а также состав, содержание, объем, правила оформления и защиты дипломного проекта).

Дипломное проектирование является завершающим этапом процесса обучения, проверкой подготовленности студентов к самостоятельной работе, систематизирует, закрепляет и расширяет теоретические знания, выполняется по специальности, по которой в дальнейшем студенту предстоит работать в качестве инженера.

При разработке дипломного проекта (дипломной работы) студенты используют теоретические знания и практические навыки, полученные при изучении общетехнических и специальных дисциплин, курсовом проектировании, а также опыт работы, приобретенный во время прохождения производственных практик на предприятиях.

Выполнение дипломного проекта (дипломной работы) способствует:

- закреплению и расширению знаний по общетехническим и специальным дисциплинам, определяющим порядок работы инженеров, соблюдению требований к оформлению документации в соответствии с действующими нормативными документами;
- выработке умения использовать знания при решении задач производственного характера применительно к своей специализации;
- приобретению навыков анализа технологического процесса и оборудования, формирования технического задания на автоматизацию и варианты проектных решений, разработки системы автоматического управления технологическими процессами;
- формированию навыков выбора устройств промышленной автоматики и средств защиты автоматических систем и технологических процессов, технической реализации алгоритмов регулирования;
- развитию способности критической оценки выполненного дипломного проекта (дипломной работы);
- умению проектировать и эксплуатировать безопасное для человека и окружающей среды оборудование, детали и узлы.

1 ОРГАНИЗАЦИЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Общий порядок организации дипломного проектирования и защиты дипломных проектов по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств (Компьютерная мехатроника)» определён в Положении № 67 от 28.11.2018 г. [1].

К выполнению дипломного проекта допускаются студенты, полностью сдавшие предусмотренные учебным планом теоретические дисциплины, курсовые проекты и практики.

Согласно учебному плану дипломный проект выполняется на 4-м курсе дневной и 4-м курсе сокращенной формы получения образования и является заключительным этапом подготовки студентов соответствующей специальности.

Темы дипломных проектов выдаются студентам до выхода на преддипломную практику. Темы утверждаются приказом ректора университета.

Работа над дипломным проектом ведётся по графику, утвержденному на заседании кафедры. Готовность отдельных материалов определяется консультантом или руководителем и подтверждается их подписью на каждом листе графического материала и в установленных местах текстовых материалов.

Дипломный проект считается полностью готовым при условии выполнения всех пунктов, предусмотренных заданием на дипломное проектирование.

Законченный дипломный проект (дипломная работа) с отзывом руководителя представляется заведующему кафедрой не позднее, чем за 10–12 дней до защиты для просмотра, визирования и решения вопроса о допуске к защите или о необходимости внесения в него дополнений или исправлений.

При отсутствии необходимости внесения изменений, подписанный заведующим кафедрой дипломный проект направляется на рецензию.

После получения рецензии, не позднее, чем за день до защиты, дипломный проект сдается на кафедру для передачи его в государственную экзаменационную комиссию.

Выполнение дипломного проекта должно способствовать закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных студентами в рамках дисциплин, изучаемых студентами данной специальности:

- технические устройства автоматизации;
- микропроцессорная техника систем автоматизации;
- автоматизированные системы управления производством;
- монтаж, эксплуатация и диагностика систем автоматизации;

- проектирование систем автоматизации;
- автоматизация технологических процессов отрасли.

Кроме того, в процессе выполнения дипломного проекта прививаются навыки применения этих знаний к комплексным разработкам конкретных инженерных проблем, подготавливая тем самым студентов к текущей самостоятельной творческой работе на производстве. Все это преследует основную цель – развитие способностей к самостоятельному инженерному творчеству.

Основные задачи дипломного проекта – научить студентов:

- анализу технологических процессов (технологического оборудования, участков, линий и прочих объектов, являющихся предметом разработки автоматизированной системы);
- выбору и обоснованию конструкторских решений при проектировании автоматизированных систем управления и средств автоматизации;
- выполнению конструкторских и технологических документов и расчётов в процессе проектирования;
- использованию справочной литературой, ЕСКД, ГОСТ, ОСТ, СНиП, техническими условиями и типовыми проектными разработками;
- применять современную вычислительную технику и соответствующие программные средства для автоматизации систем.

2 ТЕМАТИКА И СТРУКТУРА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

2.1 Основные требования

Дипломный проект выполняется в соответствии с темой, утвержденной заведующим кафедрой до начала проектирования. Для утверждения темы каждый студент должен согласовать её с руководителем дипломного проектирования.

Тема дипломного проекта может быть предложена студентом самостоятельно или выдана руководителем проекта.

При формулировании темы работы заполняется бланк задания на дипломный проект.

Задание должно быть подписано студентом и руководителем проекта. Подписанный бланк задания утверждается заведующим кафедрой. Руководство дипломным проектом может быть как индивидуальным, так и групповым.

Индивидуальное руководство предусмотрено для работ, выполняемых по индивидуальным темам.

Групповое руководство осуществляется дипломными проектами, выполняемыми по типовым учебным темам. Руководит дипломным проектом студента преподаватель кафедры.

В процессе дипломного проектирования студент обязан соблюдать график проектирования, который утверждается до начала проектирования, и своевременно представлять результаты выполненной работы на проверку руководителю проекта и куратору проектирования.

Законченный дипломный проект, подписанный руководителем работы, защищается студентом перед государственной экзаменационной комиссией в установленные сроки. По результатам защиты студенту ставится оценка.

2.2 Требование к тематике

Тема дипломного проекта выбирается на основе прохождения преддипломной практики, предыдущих наработок по дисциплинам специализации (н/п «Технические устройства автоматики», «Микропроцессорная техника систем автоматизации» и т. д.), тематика ориентированная на решение задач будущего работодателя или производства для преддипломной практики.

Тема должна соответствовать следующим критериям:

– название должно включать понятие «Разработка автоматизированной системы»;

- относится к классу автоматизированных или автоматических систем контроля и/или управления;
- являться разработкой комплексной направленности, т. е. охватывать весь функциональный (основной, вспомогательные, обслуживающие технологические операции) и аппаратный (управляющая подсистема, защита технологического оборудования и персонала, контроль и защита линий подачи материальных и энергетических потоков и т. д.) состав оборудования;
- являться комплексной разработкой комплекта проектной документации.

2.3 Типовая тематика дипломного проекта

1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: процессы легкой промышленности, механической обработки, химико-технологические процессы, технологические процессы пищевой промышленности и др.

2. Автоматизированные системы управления непромышленными объектами: автоматизированные охранные и противопожарные системы, автоматизированные системы климат-контроля зданий различного назначения, автоматизированные системы коммунального хозяйства, автоматизированные распределенные системы контроля и учета (например, для расхода энергетических ресурсов).

3. Автоматизация технологических или производственных процессов: автоматизированный технологический участок, автоматическая линия, гибкий производственный модуль, гибкая производственная система, автоматизированная складская система, автоматизированная транспортная система и др.

4. Разработка средств автоматизации управления: программируемые контроллеры нестандартного исполнения, процессорные регуляторы, логические контроллеры, нестандартные модули сопряжения с объектом и др.

5. Разработка автоматизированных рабочих мест для технологов, операторов автоматизированных систем управления, разработчиков систем.

6. Разработки для учебного процесса: учебно-лабораторные стенды, методическое и программное обеспечение лабораторных работ и практических занятий, электронные учебники, компьютерные тестовые системы, справочники-эмуляторы и т. п.

7. Исследования средств и объектов автоматизации: проведение и оформление результатов экспериментальных исследований, имитаци-

онное моделирование, разработка математического и программного обеспечения для автоматизации научных исследований (АСНИ).

2.4 Расчетно-пояснительная записка

Дипломный проект включает графическую часть и пояснительную записку. Объем графической части работы составляет не менее 4 чертежей формата А2 или А1. Чертежи могут выполняться с использованием программного обеспечения класса САПР или ручным способом. Чертежи должны соответствовать требованиям ЕСКД.

Пояснительная записка представляется в печатном или рукописном виде на листах формата А4. Форма титульного листа в Прил. Б. Объем пояснительной записки не менее 90–120 страниц. Записка должна отвечать требованиям ЕСКД к текстовым конструкторским документам.

В расчетно-пояснительной записке приводятся описания выполненных разработок, расчеты и обоснования, использованных схемно-технических и программных решений.

Технические решения проекта должны соответствовать современному уровню науки и техники, что должно быть отражено в расчетно-пояснительной записке.

Работоспособность предлагаемых в проекте технических решений должна подтверждаться соответствующими расчетами, исследованиями, эмуляционными моделями, аналогиями и другими возможными средствами.

При оформлении пояснительной записки необходимо соблюдение некоторых общих требований:

1. Ясность изложения, чтобы можно было разобраться в сделанных студентом выводах, обоснованиях выбранных решений.

2. Необходимо выдерживать систематичность и последовательность в подаче материалов.

3. Содержание темы изложить как можно полно.

4. Текст должен делиться на абзацы, правильная разбивка на абзацы облегчает чтение и понимание содержания. Критерием такого деления является смысл написанного: каждый абзац включает самостоятельную мысль, выраженную одним или несколькими предложениями.

5. Работая над проектом, следует избегать повторов, не допускать перехода к новой мысли, пока первая не получила полного законченного выражения. Необходимо сокращать растянутые, нагроможденные придаточными предложениями и вводными словами фразы, писать, по возможности, краткими предложениями, исключать тавтологии, частое повторение одних и тех же слов и выражений

6. Изложение должно быть беспристрастным, даже когда факты не в пользу студента.

7. Не приводить необоснованных положений, выводов, высказываний, а если все-таки надо указать спорное мнение, то оговариваться, что оно только частное.

8. Не перегружать проект избытком цифр, цитат, иллюстраций, схем, ибо это часто отвлекает от сути работы. Весь вспомогательный материал лучше привести в виде приложения.

9. Цитируемые в работе места должны иметь точные указания, ссылки, откуда они взяты.

10. Необходимо соблюдать единство условных обозначений и допускаемых сокращений слов, которые соответствовали бы стандартам. Все сокращения, вводимые студентом и не входящие в ГОСТ, необходимо расшифровать в перечне сокращений.

2.5 Структура расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка типового дипломного проекта имеет следующую структуру:

Введение.

1. Анализ объекта.
2. Разработка структуры системы управления.
3. Разработка функциональной схемы автоматизации.
4. Выбор и расчёт технических средств.
5. Разработка электрической схемы управления.
6. Расчёт надёжности.
7. Разработка алгоритма функционирования системы.
8. Разработка программных модулей.
9. Экономическая часть.
10. Охрана труда.
11. Промышленная экология
12. Ресурсосбережение.

Заключение.

Список используемых источников.

Комплект конструкторских, технологических, программных и иных документов.

Приложение (при необходимости).

Иные части.

Графическая часть проекта должна включать:

- структурную схему автоматизации (формат не менее чем А2);
- функциональную схему автоматизации (формат не менее чем А2);

- принципиальную электрическую схему автоматизации (схему структурную электрическую) (формат А1);
- алгоритм функционирования системы (формат А1).

Раздел «Введение» должен содержать:

– оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, основания и исходные данные для разработки темы, краткую характеристику основных аспектов изучаемой проблемы, формулировку целей и задач проектирования.

Раздел «Анализ объекта». Для оценки научно-технического уровня в предметной области, связанной с темой дипломного проекта, проводятся библиографические и патентные исследования. В процессе проведения этих исследований изучается литература и иные источники информации, а также патентная информация.

При выполнении исследований решаются следующие задачи:

- отбор аналогов объекта проектирования в дипломном проекте;
- выделение наиболее эффективных и перспективных технических решений поставленной задачи;
- оценка возможности использования имеющихся разработок в разрабатываемом проекте;
- общая оценка научно-технического уровня в рассматриваемой предметной области и оценка перспективности выполняемой в дипломном проекте разработки.

Раздел «Анализ объекта» должен содержать:

- технологическую схему автоматизируемого процесса;
- описание технологического процесса и оборудования;
- описание технологического процесса как объекта управления;
- описание математической модели процесса;
- описание аналогов системы.

Раздел «Разработка структуры системы управления» должен включать:

- структуру управления процессом;
- расшифровка обозначений на структурной схеме;
- описание работы системы, исходя из структурной схемы.

Раздел «Разработка функциональной схемы автоматизации». Функциональная схема автоматизации разрабатывается для конкретного технического объекта. Объектом автоматизации чаще всего является технологический процесс или производственный участок. Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного обо-

дования, оснащенного встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также потоки энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии. Создание эффективных систем автоматизации предопределяет необходимость глубокого изучения технологического процесса.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов необходимо решить следующие вопросы:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- обеспечение непосредственных воздействий на технологический процесс для управления им;
- регулирование технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования;

Указанные задачи решаются на основании анализа условий работы технологического оборудования, выявленных законов и критериев управления объектом, а также требований, предъявляемых к точности управления, контролю и регистрации технологических параметров, к качеству регулирования и надежности.

Раздел «Разработка функциональной схемы автоматизации» должен содержать:

- функциональную схему автоматизации;
- таблицу условных обозначений;
- описание функциональной схемы.

Раздел «Выбор и расчёт технических средств» должен включать:

- выбор средств измерения технологических переменных;
- выбор и расчёт исполнительных механизмов;
- выбор вторичных преобразователей;
- выбор управляющего устройства.

Раздел «Разработка электрической схемы управления» должен включать:

- выбор и расчет блоков питания;
- выбор элементов защиты;
- выбор переключателей ручного управления
- принципиальную электрическую схему;
- расшифровку обозначений на схеме;
- описание электрической схемы подключения.

Раздел «Разработка алгоритма функционирования системы» должен включать:

- блок-схему основного алгоритма функционирования автоматизируемой системы;
- блок-схемы подпрограмм;
- описание алгоритма функционирования системы.

«Разработка программных модулей». В дискретных технологических процессах, как правило, механизмы работают циклически. Во многих случаях циклы не являются фиксированными, т. е. их параметры могут изменяться. В зависимости от определенных условий может изменяться последовательность выполняемых действий, могут выполняться какие-либо новые действия, либо наоборот – отменяться выполнявшиеся ранее. Изменение состояния механизмов в таких процессах происходит по определенной программе и может быть описано логическими функциями. Таким образом, управление механизмами осуществляется в соответствии с определенным алгоритмом, даже если система управления не содержит программируемых устройств.

Поэтому при проектировании управляющего устройства, прежде всего, необходимо разработать алгоритм управления. Он представляется в виде блок-схемы на одном или двух листах графической части проекта.

Для построения алгоритма необходимо тщательно изучить технологический процесс и четко представлять себе:

- в какой последовательности осуществляется пуск и останов приводов отдельных механизмов;
- в каких случаях возможно изменение данного порядка работы приводов;
- при каких условиях должна осуществляться блокировка работы отдельных механизмов.

Для разработки алгоритма необходимо сформулировать условия, при которых вырабатываются все команды управления механизмами. Алгоритм должен отражать требуемую последовательность выработки команд и выполнение условий, при которых вырабатывается каждая команда. Разработанный алгоритм может быть реализован аппаратно (с помощью схемы на электронных компонентах) или в виде управляющей программы для контроллера.

В настоящее время более широко используются программируемые устройства управления. При реализации управляющего устройства на программируемом контроллере или микропроцессоре в проекте разрабатывается управляющая программа. Выбор языка или среды программирования определяется типом используемого устройства.

Для программируемых контроллеров это специализированные программные комплексы, основанные на языках программирования стандарта МЭК 61131-3. В этом случае программа может быть представлена в графической части проекта в виде экранной распечатки.

Если программа написана на языке высокого уровня (pascal, C, C++, python и т. п.), то текст программы приводится в приложении к пояснительной записке.

Раздел «Разработка программных модулей» должен включать:

- выбор среды программирования;

– программа управления.

В разделе «Экономическая часть» должна быть обоснована целесообразность внедрения проектируемой системы автоматизации. Для этого прежде всего необходимо знать затраты на создание системы. Поэтому в проекте предусматривается расчет сметной стоимости с учетом затрат на оборудование и все виды работ.

Вторым важным моментом в решении данной задачи является четкое представление о том, за счет каких составляющих достигается желаемый эффект. Это может быть сокращение обслуживающего персонала, повышение качества, и как следствие, увеличение выхода годной продукции, повышение производительности и т. д. В указанных случаях эффект может быть оценен количественно, соответственно, можно рассчитать срок окупаемости системы. Однако для этого во время прохождения преддипломной практики необходимо собрать сведения о количестве обслуживающего персонала, его заработной плате, номенклатуре и стоимости выпускаемой продукции, показателях качества и т. д. Конкретные особенности следует оговаривать с консультантом по данному разделу (желательно уже на этапе прохождения практики).

В ряде случаев эффект от внедрения автоматизации может быть социальным. Например, автоматизируется процесс с вредными для здоровья условиями труда. При этом допускается выполнять только расчет сметной стоимости системы с четким указанием достигаемого социального эффекта.

Раздел «Охрана труда» предусматривает разработку мероприятий по решениям вопросов производственной санитарии, техники безопасности и противопожарных мероприятий.

Для выполнения данного раздела необходимо в процессе прохождения преддипломной практики изучить систему охраны труда на предприятии, особенности автоматизируемого технологического процесса с точки зрения наличия опасных и вредных для здоровья человека факторов, а также те мероприятия, которые предусмотрены для компенсации этих факторов и обеспечения нормальных условий труда. Затем по согласованию с консультантом по данному разделу необходимо определить, какие мероприятия следует предусмотреть при разработке системы автоматизации. Они должны быть обоснованы и подкреплены соответствующими расчетами.

В разделе «Промышленная экология» необходимо дать характеристику влияния предприятия на окружающую среду, а также идентифицировать экологические аспекты деятельности, определить влияние экологических аспектов на окружающую среду и разработать предложения по сокращению воздействия. Разделы «Охрана труда» и «Про-

мышленная экология» выполняются под руководством преподавателя кафедры «Экология и химические технологии».

В разделе «Ресурсосбережение» дается понятие ресурсосбережения и его составляющих, актуальность данной проблемы и пути решения ее для конкретного дипломного проекта.

Данный раздел является обязательным и входит в состав основного раздела. В нем должны быть предусмотрены и обоснованы конкретные мероприятия, обеспечивающие экономию энергоресурсов. Прежде всего не должны приниматься нерациональные технические решения при проектировании, которые в дальнейшем приведут к работе оборудования в неэкономичном режиме. Не следует завышать необоснованно мощность устанавливаемых электродвигателей, т. к. это приведет к их работе с пониженным КПД. Не следует устанавливать несколько параллельно работающих двигателей вместо одного эквивалентной мощности, т. к. у двигателей меньшей мощности КПД, как правило, ниже. Для пуска и регулирования скорости двигателей не следует применять реостаты, т. к. на них выделяется тепловая энергия. Более экономичными являются устройства на полупроводниковых элементах. Для торможения следует предусматривать режимы с рекуперацией энергии в сеть.

Кроме того, существуют мероприятия, целенаправленно обеспечивающие уменьшение энергопотребления. К таким мероприятиям относится применение частотно-регулируемых приводов. Однако следует иметь в виду, что эффект экономии обеспечивается лишь при правильном их использовании. Привод обязательно должен работать в регулируемом режиме на нагрузку, зависящую от скорости (производительности). Это легко реализуется в приводах насосов, вентиляторов и т. п.

Возможна также утилизация тепла продуктов горения в тепловых процессах с использованием средств автоматизации и др. аналогичные мероприятия. Выбор осуществляется в каждом конкретном случае, исходя из особенностей автоматизируемого техпроцесса.

В Заключение в тезисной форме отображаются основные результаты разработки.

В список используемых источников включаются библиографические сведения об использованных при подготовке и выполнении проекта источниках, а также о цитируемых в тексте документах и источниках фактических или статистических сведений.

На каждый источник из списка должна быть ссылка в пояснительной записке. Список использованных источников оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.5–2008.

Приложения содержат вспомогательный или дополнительный материал, который загромождает текст основной части работы, но необходим для полноты ее восприятия разработки и оценки ее практической значимости.

Они включают в себя графический материал, выполненный в соответствии с ГОСТ и имеющий формат А4 и более, алгоритмы и текст программ, копии документов и др. По форме они могут быть представлены в виде текста, таблиц, графиков, схем, диаграмм, фотографий.

Каждое приложение должно иметь название.

Допускается изменение структуры дипломного проекта по согласованию с руководителем проекта, и полученная структура в обязательном порядке отражается в листе задания на дипломное проектирование и утверждается заведующим кафедрой.

Изменения могут быть внесены если дипломный проект выполняется по нестандартной тематике или характер проводимых изысканий имеет более углубленный характер проработки узконаправленных задач разработки (н/п выбор и анализ применения закона регулирования, инвариантное оптимальное управление, разработка программно-аппаратных систем на основе SCADA и т. д.).

Тематики дипломного проекта могут включать направления исследовательского характера, разработки программного обеспечения [2].

Примерная структура проекта связанного с разработкой программного обеспечения:

Введение.

1 Анализ объекта

1.1 Описание объекта внедрения.

1.2 Описания аналогов и способов решения задач.

1.3 Описания основных функций и требований предъявляемым к

ПО данного типа.

1.4 Ограничения на параметры и объект.

Выводы в виде листа ТЗ.

2. Выбор и обоснование среды программирования

3. Разработка структуры ПО.

3.1 Разработка укрупненного алгоритма функционирования (UML диаграмм)

3.2 Прототипирование интерфейса пользователя ПО.

4. Разработка математического и информационного обеспечения системы и их связь с отдельными программными модулями.

5. Разработка отдельных программных модулей.

5.1 Алгоритмы подпрограмм

5.2 Текст подпрограммы с комментариями

5.3 Интерфейс пользователя.

6. Опытная проработка с использованием разработанного ПО.

6.1 Пример работы ПО с привязкой к объекту, используя известные входные и выходные параметры (функциональное тестирование).

6.2 Методическое обеспечение.

7. Экономическая часть.

8. Охрана труда.

9. Промышленная экология

10. Ресурсосбережение.

Заключение.

Список используемых источников.

Комплект конструкторских, технологических, программных и
иных документов.

Приложение (при необходимости).

Иные части.

3 АНАЛИЗ ОБЪЕКТА

Для оценки научно-технического уровня в предметной области, связанной с темой дипломного проекта, проводятся библиографические и патентные исследования. В процессе проведения этих исследований изучается литература и иные источники информации, а также патентная информация.

При выполнении исследований решаются следующие задачи [2,3]:

- отбор аналогов объекта проектирования в дипломной работе;
- выделение наиболее эффективных и перспективных технических решений поставленной задачи;
- оценка возможности использования имеющихся разработок в разрабатываемом проекте;
- общая оценка научно-технического уровня в рассматриваемой предметной области и оценка перспективности выполняемой разработки.

Описание технологического процесса и оборудования включают:

- цели и задачи процесса;
- основные режимы работы технологического оборудования, тактограммы поясняющие режимы;
- перечень параметров, характеризующих процесс, их диапазоны и т. д.;
- кинематические, гидравлические, пневматические и прочие схемы оборудования;
- описание и структура существующей системы управления, при модернизации оборудования;
- выбор критерия оптимизации процесса и условий реализации данного критерия;
- анализ аналогов системы управления данного типа процесса;
- выбор и обоснование математического аппарата и модели для описания процесса на основе выбранного критерия оптимизации;
- выводы (необходимо сформулировать основные направления разработки, технические условия и преимущества разрабатываемой системы).

Результатом первого раздела является техническое задание на проект.

4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Согласно ГОСТ 34.602-2020. техническое задание (далее – ТЗ) на автоматизированные системы (АС) автоматизации содержит следующие разделы, которые могут быть разделены на подразделы [4]:

1. Общие сведения.
2. Цели и назначение создания автоматизированной системы.
3. Характеристика объектов автоматизации.
4. Требования к автоматизированной системе.
5. Состав и содержание работ по созданию автоматизированной системы.
6. Порядок разработки автоматизированной системы.
7. Порядок контроля и приемки автоматизированной системы.
8. Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу автоматизированной системы в действие.
9. Требования к документированию.
10. Источники разработки.

В ТЗ на системы автоматизации могут включать приложения.

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

В ТЗ на части системы не включают разделы, дублирующие содержание разделов ТЗ на системы автоматизации в целом.

В разделе «Общие сведения» указывают:

1. Полное наименование АС и ее условное обозначение.
2. Шифр темы (при наличии).
3. Наименование организации-заказчика АС и организации-разработчика, если это известно.
4. Перечень документов, на основании которых создается АС, кем и когда утверждены эти документы.
5. Общие сведения об источниках и порядке финансирования работ.

В подразделе «Перечень документов, на основании которых создается АС, кем и когда утверждены эти документы» приводят примеры документов, документам, на основании которых создается АС: договорные документы; нормативно-правовые и технические документы; ТЗ на ранее разработанную АС.

Раздел «Цели и назначение создания автоматизированной системы» состоит из подразделов:

1. Цели создания АС.
2. Назначение АС.

В подразделе «Цели создания АС» приводят наименования и требуемые значения технических, технологических, производственно-экономических и пр. показателей объекта автоматизации, которые должны быть достигнуты в результате создания АС, и указывают критерии оценки достижения целей создания АС.

В подразделе «Назначение системы» указывают вид автоматизируемой деятельности (управление, проектирование и т. п.) относительно объекта автоматизации в целом.

Для сложного объекта автоматизации приводится перечень объектов, где будет использоваться АС.

В разделе «Характеристики объекта автоматизации» приводят:

1. Основные сведения об объекте автоматизации или ссылки на документы с этими сведениями.

2. Сведения об условиях эксплуатации объекта автоматизации и характеристиках окружающей среды.

В подразделе «Основные сведения об объекте автоматизации или ссылки на документы с этими сведениями» приводятся основные сведения об объекте автоматизации, чтобы однозначно его идентифицировать и сформировать представление о масштабах разработки.

Раздел «Требования к автоматизированной системе» состоит из следующих подразделов:

1. Требования к структуре АС в целом.

2. Требования к функциям (задачам) АС.

3. Требования к видам обеспечения АС (математическому, информационному, лингвистическому, программному, техническому, метрологическому, организационному, методическому, и другим видам обеспечения АС).

4. Общие технические требования к АС.

Состав требований к системе, включаемых в данный раздел ТЗ на системы автоматизации, устанавливают в зависимости от вида, назначения, специфических особенностей и условий функционирования конкретной системы. В каждом подразделе приводят ссылки на действующие НТД, определяющие требования к системам соответствующего вида.

В подразделе «Требования к структуре АС в целом» указывают [2,5]:

– перечень подсистем, их назначение и основные характеристики, требования к числу уровней иерархии и степени централизации АС;

– требования к способам и средствам обеспечения информационного взаимодействия компонентов АС;

– требования к интеграции (характеристикам взаимосвязей) со смежными АС, требования к интероперабельности, к совместимости, включая способы обмена информацией;

– требования к режимам функционирования АС;

- требования по диагностированию АС;
- требования к транспортабельности для подвижных систем автоматизации.

Для каждой функции (задачи) указываются результаты ее выполнения и их основные характеристики. Дополнительно можно указать:

- временной регламент реализации;
- требования к реализации;
- характеристики точности и времени выполнения, одновременности выполнения группы функций;
- требования к достоверности выдачи результатов;
- перечень и критерии отказов для функций, где указаны требования по надежности.

Для каждого вида обеспечения АС приводится свой набор требований, что будет рассмотрено в рамках отдельной статьи.

В подразделе «Общие технические требования к АС» указывают:

- требования к численности и квалификации персонала и пользователей АС;
- требования к надежности;
- требования по безопасности;
- требования к эргономике и технической эстетике;
- требования к транспортабельности для подвижных АС;
- требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов АС;
- требования к защите информации от несанкционированного доступа;
- требования по сохранности информации при авариях;
- требования к защите от влияния внешних воздействий;
- требования к патентной чистоте и патентоспособности;
- требования по стандартизации и унификации
- дополнительные требования (к оснащению АС учебно-тренировочными средствами и документацией на них, к сервисной аппаратуре, стендам для проверки элементов АС, требования, связанные с особыми условиями эксплуатации и специальные требования по усмотрению разработчика или заказчика).

Раздел «Порядок разработки автоматизированной системы» должен содержать:

- порядок организации разработки АС;
- перечень документов и исходных данных для разработки АС;
- перечень документов, предъявляемых по окончании соответствующих этапов работ;
- порядок проведения экспертизы технической документации;
- перечень макетов, порядок их разработки, изготовления, испытаний, необходимость разработки на них документации, программы и методик испытаний;

- порядок разработки, согласования и утверждения плана совместных работ по разработке АС;
- порядок разработки, согласования и утверждения программы работ по стандартизации;
- требования к гарантийным обязательствам разработчика;
- порядок проведения технико-экономической оценки разработки АС;
- порядок разработки, согласования и утверждения программы метрологического обеспечения, программы обеспечения надежности, программы эргономического обеспечения.

Раздел «Порядок контроля и приёмки автоматизированной системы» должен содержать:

- виды, состав и методы испытаний АС и ее составных частей;
- общие требования к приемке работ, порядок согласования и утверждения приемочной документации;
- статус приемочной комиссии (государственная, межведомственная, ведомственная и др.).

Порядок согласования и утверждения приемочной документации, а также статус приемочной комиссии указываются при необходимости.

В разделе «Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу автоматизированной системы в действие» необходимо привести перечень мероприятий подготовки объекта автоматизации к вводу АС в действие.

В перечень мероприятий включают:

1. Создание условий функционирования объекта автоматизации, при которых гарантируется соответствие создаваемой АС требованиям ТЗ.
2. Проведение необходимых организационно-штатных мероприятий.
3. Порядок обучения персонала и пользователей АС.

Например, для АСУ приводят:

- изменения применяемых методов управления;
- создание условий для работы компонентов АСУ, при которых гарантируется соответствие системы требованиям, содержащимся в ТЗ.

В разделе «Требования к документированию» приводят:

1. Перечень подлежащих разработке документов.
2. Вид представления и количество документов.
3. Требования по использованию ЕСКД и ЕСПД.

Например, руководство пользователя, техническая инструкция по ГОСТам серии 34. При отсутствии соответствующих ГОСТов, определяющих требования к документированию элементов АС, сюда включают требования к составу и содержанию таких документов

В разделе «Источники разработки» должны быть перечислены документы и информационные материалы (технико-экономическое обос-

нование, отчеты о законченных научно-исследовательских работах, материалы на системы-аналоги и др.), на основании которых разрабатывалось ТЗ и которые должны быть использованы при создании системы.

В состав ТЗ на системы автоматизации при наличии утвержденных методик включают приложения, содержащие:

1. Расчет ожидаемой эффективности системы.
2. Оценку научно-технического уровня системы.

5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Схемы структурные определяют основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи и служат для общего ознакомления с изделием. На структурной схеме раскрывается не принцип работы отдельных функциональных частей изделия, а только взаимодействие между ними. Поэтому составные части изделия изображают упрощенно в виде прямоугольников произвольной формы. Допускается применять условные графические обозначения [2].

5.1 Структура систем управления

При разработке проекта автоматизации в первую очередь необходимо решить, с каких мест те или иные участки объекта будут управляться, где будут размещаться пункты управления, операторские помещения, какова должна быть взаимосвязь между ними, т. е. необходимо решить вопросы выбора структуры управления. Под структурой управления понимается совокупность частей автоматической системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействий между ними. Графическое изображение структуры управления называется структурной схемой.

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, снижение относительной стоимости системы управления, ее надежности, ремонтоспособности и т. д.

В самом общем виде структурная схема системы автоматизации представлена на рисунке 5.1. Система автоматизации состоит из объекта автоматизации и системы управления этим объектом. Благодаря определенному взаимодействию между объектом автоматизации и системой управления система автоматизации в целом обеспечивает требуемый результат функционирования объекта, характеризующийся параметрами x_1, x_2, \dots, x_n .

К этим параметрам можно отнести, например, величины, характеризующие целесообразный конечный продукт технологического процесса, отдельные параметры, определяющие ход технологического процесса, его экономичность, обеспечение безаварийного режима и т. д.

Кроме этих основных параметров, работа комплексного объекта автоматизации характеризуется рядом вспомогательных параметров y_1, y_2, \dots, y_i , которые также должны контролироваться и регулироваться (например, поддерживаться постоянными). К такого рода параметрам можно отнести, например, величины, характеризующие работу устано-

вок подготовки технологического пара, насосных станций оборотного водоснабжения и т. д.

От этих установок требуется только подача на вход технологической установки сырья и энергоносителей с заданными параметрами. При этом необходимая дозировка подачи сырья и энергоносителей осуществляется средствами управления, относящимися к технологической установке [2].

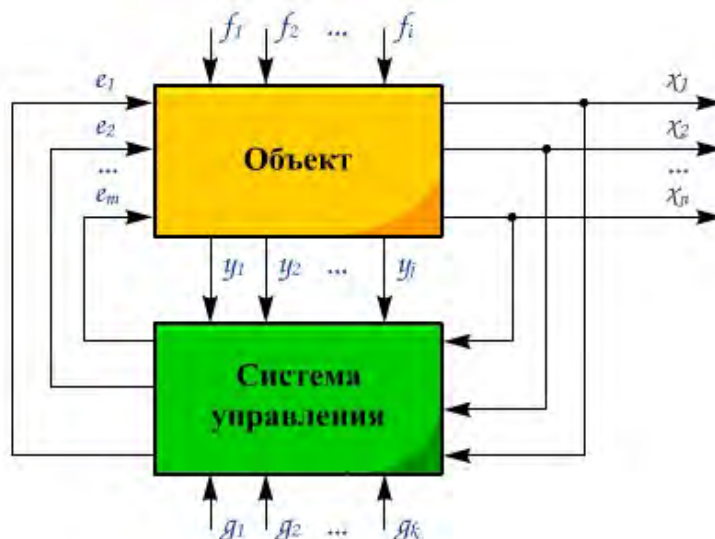


Рисунок 5.1 – Структурная схема системы автоматизации

В процессе работы на объект поступают возмущающие воздействия f_1, f_2, \dots, f_i , вызывающие отклонения параметров x_1, x_2, \dots, x_n от их требуемых значений. Информация о текущих значениях $x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_i$ поступает в систему управления и сравнивается с предписанными им значениями g_1, g_2, \dots, g_k , в результате чего система управления вырабатывает управляющие воздействия e_1, e_2, \dots, e_m для компенсации отклонений выходных параметров.

Таким образом, объект автоматизации в общем случае состоит из нескольких в большей или меньшей степени связанных друг с другом участков управления. Участки управления физически могут представляться в виде отдельных установок, агрегатов и т. д. или в виде локальных каналов управления отдельными параметрами одних и тех же установок, агрегатов и т. д.

В свою очередь, система управления в зависимости от важности регулируемых параметров, круга работников эксплуатационного персонала, которым необходимо знать их значения для осуществления оптимального управления объектом, в общем случае должна обеспечивать разные уровни управления объектом автоматизации, т. е. должна состоять из нескольких пунктов управления, в той или иной степени взаимосвязанных друг с другом.

С учетом изложенного структуры управления объектом автоматизации могут быть в частных случаях одноуровневыми централизованными, одноуровневыми децентрализованными и многоуровневыми. Одноуровневые системы управления, в которых управление объектом осуществляется с одного пункта управления, называются централизованными. Одноуровневые системы, в которых отдельные части сложного объекта управляются из самостоятельных пунктов управления, называются децентрализованными.

Структурные схемы одноуровневых централизованных и децентрализованных систем приведены на рисунке 5.2, на котором стрелками показаны только основные потоки передачи информации от объекта управления к системе управления и управляющие воздействия системы на объект управления. На рисунке 5.2 отдельные части сложного объекта управления, управляемые соответственно с пунктов ПУ1–ПУ3, разделены штриховыми линиями.

Одноуровневые централизованные системы применяются в основном для управления относительно несложными объектами или объектами, расположенными на небольшой территории. Большинство промышленных объектов в настоящее время представляет собой сложные комплексы, отдельные части которых расположены на значительном расстоянии друг от друга [2].

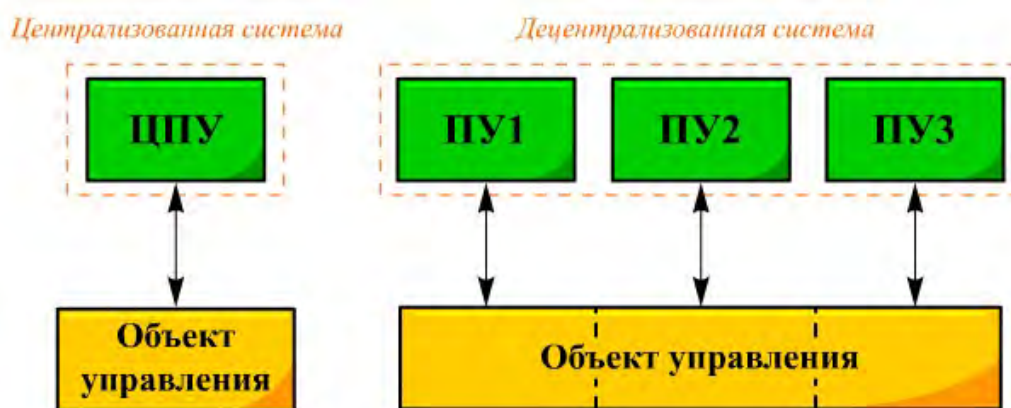


Рисунок 5.2 – Примеры одноуровневых систем управления

Кроме основных технологических установок, объекты имеют большое число вспомогательных установок-подобъектов (промышленные котельные, компрессорные, насосные станции оборотного водоснабжения, котлы-утилизаторы, очистные сооружения и т. п.), которые необходимы для обеспечения технологических установок всеми видами энергии, а также для утилизации и нейтрализации остаточных продуктов технологического процесса.

Если управление такого комплексного объекта построить по одноуровневой централизованной системе, то намного усложнятся коммуникации системы управления, резко возрастут затраты на ее соору-

жения и эксплуатацию, центральный пункт управления получится громоздким. Переработка информации, большая часть которой является ненужной для непосредственного ведения технологического процесса, представляет большие затруднения. Удаленность пункта управления от того или иного вспомогательного подобъекта затрудняет принятие оперативных мер по устранению тех или иных неполадок. В этом случае более приемлемой становится одноуровневая децентрализованная система управления.

Однако с помощью одноуровневых систем не всегда представляется возможным оптимально решить вопросы управления технологическими процессами. Это в первую очередь относится к сложным технологическим процессам. Тогда целесообразно переходить к многоуровневым системам управления. В качестве примера на рисунке 5.3 представлена трехуровневая система управления сложным объектом с разветвленными технологическими связями между установками.

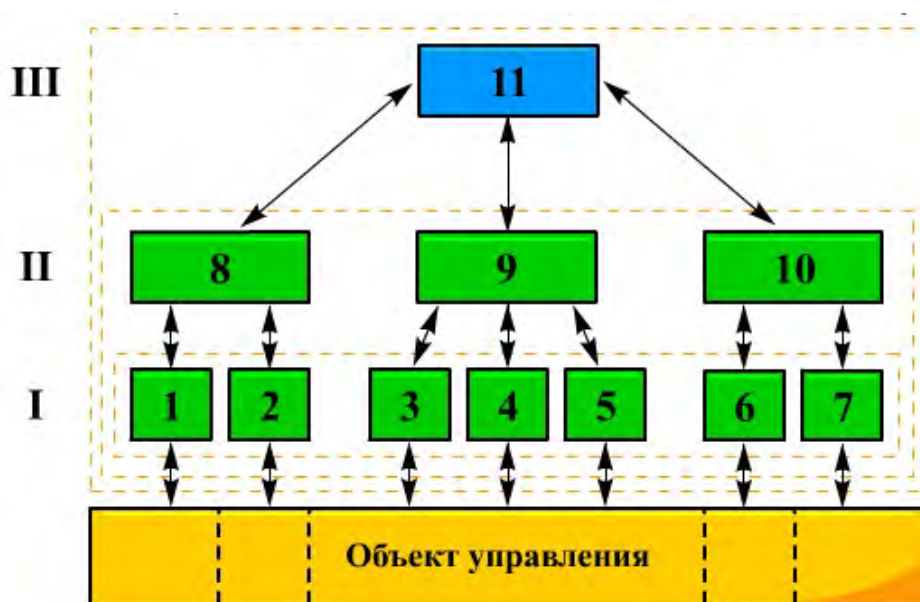


Рисунок 5.3 – Пример трехуровневой системы управления:
I–III – уровни управления

Отдельные технологические установки управляются децентрализованно с пунктов управления 1–7. Это первый уровень управления. С пунктов 1–7 соответственно управляются объекты, имеющие существенную технологическую взаимосвязь. В связи с этим наиболее ответственные регулируемые параметры установок передаются на пункты управления 8–10 второго уровня управления. Основные параметры, определяющие технологический процесс объекта в целом, могут управляться и контролироваться с пункта управления 11 третьего уровня [2].

Для первого уровня при проектировании целесообразно предусматривать три режима управления:

- командами, поступающими от уровня более высокого ранга;
- командами, формирующимися непосредственно на первом уровне;

- командами, поступающими как с уровня более высокого ранга, так и формирующимися непосредственно на первом уровне.

Для уровня второго ранга и выше возможны четыре режима работы:

- аппаратура данного i -го ранга принимает и реализует в управляющие воздействия команды $(i + 1)$ -го ранга;

- команды формируются непосредственно на аппаратуре i -го ранга;

- все функции управления с i -го ранга передаются на аппаратуру $(i - 1)$ -го ранга;

- часть команд на аппаратуру i -го ранга поступает с $(i + 1)$ -го ранга, часть команд формируется на i -м ранге, часть функций управления передана на аппаратуру $(i - 1)$ -го ранга.

Аппаратура i -го ранга соответственно должна иметь переключатели режимов на три положения с четкой сигнализацией положений. Перевод аппаратуры с режима 1 на режим 2 осуществляется по команде или с разрешения оператора системы вышестоящего ранга.

Передача функций управления тем или иным параметром на нижестоящий ранг осуществляется только после приема команды о передаче и подтверждения оператора системы нижестоящего ранга о готовности к принятию на себя тех или иных функций управления (формирования команд).

Многоуровневая структура системы управления обеспечивает ее надежность, оперативность, ремонтпригодность. При этом легко решается оптимальный уровень централизации управления с минимальным количеством средств технологического контроля, управления и линий связи между ними [2].

5.2 Выполнение структурных схем автоматизации (схем функциональной структуры)

Структурные схемы автоматизации в проектах автоматизации рекомендуется разрабатывать в соответствии с ГОСТ 24.302-80. Система технической документации на АСУ. Общие требования к выполнению схем (п. 2.1, 2.2, 2.6).

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимодействия рекомендуется стрел-

ками (по ГОСТ 2.721-74) обозначать направления хода процессов, происходящих в изделии.

На структурной схеме отображаются в общем виде основные решения проекта по функциональной, организационной и технической структурам автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) с соблюдением иерархии системы и взаимосвязей между пунктами контроля и управления, оперативным персоналом и технологическим объектом управления. Принятые при выполнении структурной схемы принципы организации оперативного управления технологическим объектом, состав и обозначения отдельных элементов структурной схемы должны сохраняться во всех проектных документах на АСУ ТП, в которых они конкретизируются и детализируются в функциональных схемах автоматизации, структурной схеме комплекса технических средств (КТС) системы, принципиальных схемах контроля и управления, а также в проектных документах, касающихся организации оперативной связи и организационного обеспечения АСУ ТП.

Исходными материалами для разработки структурных схем являются:

- задание на проектирование АСУ ТП;
- принципиальные технологические схемы основного и вспомогательного производств технологического объекта;
- задание на проектирование оперативной связи подразделений автоматизируемого технологического объекта;
- генплан и титульный список технологического объекта.

Структурная схема разрабатывается на стадиях «проект» и «рабочий проект». На стадии «рабочая документация» при двухстадийном проектировании структурная схема разрабатывается только в случае изменений технологической части проекта или решений по АСУ ТП, принятых при утверждении проекта автоматизации.

Элементы структурной схемы изображаются, как правило, в виде прямоугольников. Отдельные функциональные службы [отдел главного энергетика (ОГЭ), отдел главного механика (ОГМ), отдел технического контроля (ОТК) и т. п.] и должностные лица (директор, главный инженер, начальник цеха, начальник смены, мастер и т. п.) допускается изображать на структурной схеме в виде кружков.

Внутри прямоугольников, изображающих участки (подразделения) автоматизируемого объекта, раскрывается их производственная структура. При этом выделяются цехи, участки, технологические линии либо группы агрегатов для выполнения законченного этапа технологического процесса, которые являются существенными для раскрытия в документах проекта всех взаимосвязей между управляемой (технологическим объектом управления) и управляющей системами [2].

6 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ

6.1 Общие положения и правила выполнения

Функциональные схемы автоматизации (далее – ФСА) являются основным проектным документом, определяющим структуру и уровень автоматизации технологического процесса (ТП) проектируемого объекта и оснащение его приборами и средствами автоматизации.

ФСА – это чертеж, на котором с помощью условных изображений показывают технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматики, средства вычислительной техники и другие агрегатные комплексы с указанием связей между приборами и средствами автоматизации, таблицы условных обозначений и пояснения к схеме.

ФСА является основанием для выполнения остальных чертежей проекта, составления заявочных ведомостей, спецификаций. Она согласуется с заказчиком или организацией, выдавшей задание на проектирование.

Для однотипных объектов управления, не связанных между собой и имеющих одинаковое оснащение приборами и средствами автоматизации и одинаковые щиты (пульты), схему следует выполнять для одного из них. На схеме дают пояснения.

Для однотипных технологических объектов, имеющих общие щиты и пульты с аппаратурой и приборами, допускается показывать технологическое оборудование одного объекта. При этом технические системы автоматизации (ТСА) и приборы, установленные на щите, показывают полностью для всех объектов.

Если приборы однотипны, контролируемые параметры имеют одинаковые значения, то все повторяющиеся приборы показывают на щите один раз, но проставляют их количество.

Если приборы однотипны, а контролируемые параметры различаются значениями, то на щите показывают все приборы, а около линий связи, соединяющих приборы с управляемым объектом, делают соответствующее пояснение.

При использовании многоточечного прибора для контроля какого-либо параметра в нескольких однотипных аппаратах на схеме допускается показывать только один технологический аппарат и один датчик, а около прибора показывают линии связи от остальных датчиков. На ФСА дают пояснение, на основании какого документа она разработана [2].

6.2 Изображение технологического оборудования, приборов и средств автоматизации

Графическое построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности ТП. Технологическая схема вычерчивается с упрощенным изображением оборудования, масштаб при этом не соблюдается. Конфигурация оборудования должна соответствовать действительной и изображаться принятыми условными обозначениями.

ФСА графически делится на две зоны:

1. 2/3 высоты чертежа изображается технологическая схема.
2. Под технологической схемой вычерчиваются два прямоугольника, обозначающих установку местных приборов и щитов, пультов, пунктов контроля и управления и т. п. В прямоугольниках условными обозначениями показывают соответствующую аппаратуру.

Оборудование и коммуникации изображаются тонкими линиями, а технологические потоки жирными. Соединение и пересечение трубопроводов показываются следующими условными обозначениями (рис. 6.1):



Рисунок 6.1 – Условные обозначения соединения и пересечения трубопроводов

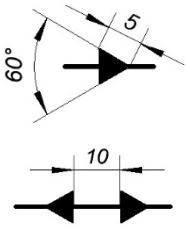
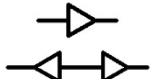
Допускается изображать элементы объекта в виде прямоугольников, которые должны иметь наименование.

У изображений объектов и трубопроводов должны быть поясняющие надписи (наименование оборудования, его номер) и указание направления потоков (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Обозначения направления потока энергии, жидкости и газа

Наименование 1	Обозначение 2
1. Поток электромагнитной энергии, сигнал электрический: а) в одном направлении (например вправо);	
б) в обоих направлениях не одновременно;	
в) в обоих направлениях одновременно	

Окончание таблицы 6.1

1	2
2. Поток жидкости: а) в одном направлении (например, вправо); б) в обоих направлениях;	
3. Поток газа (воздуха): а) в одном направлении (например, вправо); б) в обоих направлениях	

Технологические трубо-, газо- и водопроводы на функциональной схеме обозначаются однолинейно в соответствии с условным изображением:

- Жидкость или газ, преобладающий в данном проекте
- 1- Вода
- 2- Пар
- 3- Воздух
- 4- Азот
- 5- Кислород
- 6- Аргон
- 7- Неон
- 8- Гелий
- 9- Криптон
- 10- Ксенон
- 11- Аммиак
- 12- Кислота (окислитель)
- 13- Щелочь
- 14- Масло
- 15- Жидкое горючее
- 16- Водород
- 17- Ацетилен
- 18- Фреон
- 19- Метан
- 20- Этан
- 21- Этилен
- 22- Пропан
- 23- Пропилен
- 24- Бутан
- 25- Бутилен
- 26- Противопожарный трубопровод
- 27- Вакуум

Изображение объекта автоматизации и отдельных его элементов выполняется таким образом, чтобы линии имели минимальную протяженность, изгибы и пересечения.

Прямоугольники с приборами могут размещаться в следующей последовательности сверху вниз:

1. Приборы местные, или внештитовые приборы.
2. Местные щиты контроля и управления.
3. Операторские щиты.
4. Центральные и диспетчерские щиты управления.
5. Управляющие вычислительные машины и машины централизованного контроля.

При распределении изображения щита и комплексного устройства на первом листе прямоугольник щита справа заканчивается линией. При необходимости размещения щита на следующих листах прямоугольник не заканчивается линией с правой стороны. В этом месте делают соответствующую надпись. На последнем листе схемы прямоугольник замыкается справа.



Приборы и ТСА, которые располагаются вне щитов и конструктивно не связаны с технологическим оборудованием и коммуникациями, условно показывают в прямоугольнике «Приборы местные». Прямоугольник располагают над прямоугольником щитов.

Приборы и технические средства автоматизации показывают условными обозначениями по ГОСТ 2.721 и ГОСТ 2.303 (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Графические условные обозначения приборов и средств автоматизации

Наименование	Обозначение	Примечание
1	2	3
<p>1. Прибор или аппарат, установленный вне щита (по месту):</p> <p>а) основное обозначение</p> <p>б) допускаемое значение</p>		<p>В обоснованных случаях допускается использовать второй вариант</p>
<p>2. Прибор или аппарат, установленный на щите или пульте:</p> <p>а) основное обозначение</p> <p>б) допускаемое значение</p>		<p>В обоснованных случаях допускается использовать второй вариант</p>

Окончание таблицы 6.2

1	2	3
3. Функциональные блоки цифровой техники (контроллер, системный блок, монитор, устройство сопряжения и др.)		Размеры по усмотрению разработчика применительно к удобству оформления схемы
4. Прибор, устройство ПАЗ, установленный вне щита: а) основное обозначение б) допускаемое обозначение		
5. Прибор, устройство ПАЗ, установленный на щите: а) основное обозначение б) допускаемое обозначение		При размещении оборудования ПАЗ в шкафах, стойках и стativaх, предназначенных для размещения только систем ПАЗ, на схемах допускается не обозначать это оборудование ромбами
6. Исполнительный механизм (ИМ), общее обозначение.		
7. ИМ, открывающийся при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала		
8. ИМ, закрывающийся при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала		
9. ИМ, в котором при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала РО остается в неизменном положении		
10. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом		Обозначение может применяться с любым дополнительным знаком, характеризующим положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или регулирующего сигнала

Построение буквенных условных обозначений измеряемых величин и функций, выполняемых приборами и ТСА, выполняется прописными буквами латинского алфавита (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Буквенные условные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов и средств автоматизации

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	Анализ Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.	–	Сигнализация	–	–
B	Пламя, горение	–	–	–	–
C	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–
D	+	Разность или перепад	–	–	Величина отклонения от заданной измеряемой величины
E	Напряжение	-	–	Чувствительный элемент	–
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
G	+	–	Первичный показывающий прибор	–	–
H	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
I	Ток	–	Вторичный показывающий прибор	–	–
J	Мощность	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–

Окончание таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6
K	Время, временная программа	–	–	Станция, управление	–
L	Уровень	–	–	-	Нижний предел измеряемой величины
M	+	–	–	–	–
N	+	–	–	–	–
O	+	–	–	–	–
P	Давление, вакуум	–	–	–	–
Q	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	–	+	–
R	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
S	Скорость, частота	–	–	Включение, отключение, переключение, блокировка	–
T	Температура	–	–	Преобразование	–
U	Несколько различных измеряемых величин	–	–	–	–
V	Вибрация	–	–	–	–
W	Вес, сила, масса	–	–	–	–
X	Нерекомендуемая резервная буква	–	Вспомогательные комп. устройства	–	–
Y	Событие, состояние	–	–	Вспомогательное вычислительное устройство	–
Z	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ	–	+	–

Примечание: буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «–» не используются.

6.3 Правила построения условных обозначений приборов и средств автоматизации в схемах

Настоящий стандарт устанавливает два метода построения условных обозначений:

- упрощённый;
- развёрнутый.

При упрощённом методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например, контроль, регулирование, сигнализацию и выполнение в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением.

При развёрнутом методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают в себя графические, буквенные и цифровые обозначения. В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение. В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

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

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 Н.

Первая буква У 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 системы инструментальной безопасности – ПАЗ.

Порядок расположения буквенных обозначений принимают с соблюдением последовательности обозначений, приведенной на рисунке 6.2.



Рисунок 6.2 – Принцип построение условного обозначения прибора

6.4 Функциональные признаки приборов

Букву А 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 К применяют для обозначения станции управления, имеющей переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления.

Букву Е 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 для включения, отключения, переключения или блокировки.

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

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

Букву У применяют для обозначения вспомогательного устройства, выполняющего функцию вычислительного устройства

Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляют, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв Н и L. Комбинацию букв НН и LL используют для указания двух величин. Буквы наносят справа от графического обозначения.

Отклонение функции D при объединении с функцией A (тревога) указывает, что измеренная переменная отклонилась от задания или другой контрольной точки больше, чем на predetermined число.

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 значение, для измеряемой величины A указывают тип анализатора, обозначение анализируемой величины и интервал значений измеряемого параметра.



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

Приборы и ТСА показываются на функциональной схеме развернутым способом, при этом каждый прибор и блок, входящий в единый измерительный, управляющий или регулирующий комплект, показывается отдельно условными графическими обозначениями, а сложные приборы, выполняющие несколько функций, дополняются изображениями нескольких окружностей с указанием своих функций, располагаемых слитно.

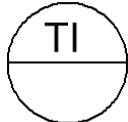


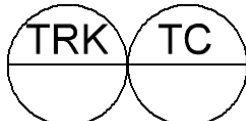
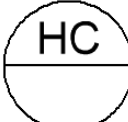
Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4 – Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации

1	2
<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Например: преобразователь термоэлектрический (термопара), термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический и т. п.</p>	



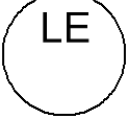







Продолжение таблицы 6.4

<p>Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите. Например: милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневмо- или электропередачей.</p>	
<p>Прибор для измерения температуры одноточечный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения температуры с автоматическим обегаяющим устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температуры (термометр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т. п.).</p>	
<p>Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температуры.</p>	
<p>Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Например: вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт».</p>	
<p>Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле температурное.</p>	
<p>Первичный прибор контроля температуры в системе ПАЗ.</p>	
<p>Измерение температуры. Аналого-цифровой преобразователь, установленный на щите, включенный в контур ПАЗ.</p>	
<p>Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите.</p>	

Продолжение таблицы 6.4

<p>Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите.</p>	
<p>Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий, установленный по месту. Например: любой показывающий манометр, дифманометр, тягомер, напорометр, вакуумметр и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий</p>	
<p>Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей.</p>	
<p>Прибор для измерения давления (разрежения) регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления.</p>	
<p>Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле давления.</p>	
<p>Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту. Например: электроконтактный манометр, вакуумметр и т. п.</p>	
<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: датчик индукционного расходомера и т. п.</p>	
<p>Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: ротаметр бесшкальный с пневмо- или электропередачей.</p>	
<p>Прибор для измерения соотношения расходов регистрирующий, установленный на щите. Например: любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов.</p>	
<p>Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр) показывающий</p>	
<p>Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту. Например: любой бесшкальный счетчик-расходомер с интегратором.</p>	

Продолжение таблицы 6.4

<p>Прибор для измерения расхода показывающий, интегрирующий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий с интегратором.</p>	
<p>Массовый многопараметрический расходомер, обеспечивающий измерение расхода, температуры с аналоговым токовым выходом 4–20 мА.</p>	
<p>Прибор для измерения расхода интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту. Например: счетчик-дозатор</p>	
<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту. Например: датчик электрического или емкостного уровнемера</p>	
<p>Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр), используемый для измерения уровня.</p>	
<p>Прибор для измерения уровня с выносным блоком индикации. Показать в виде двух отдельных блоков с соединительной линией в соответствии с ГОСТ 21.408.</p>	
<p>Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для блокировки и сигнализации верхнего уровня</p>	
<p>Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей.</p>	
<p>Прибор для измерения уровня бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: электрический регулятор-сигнализатор уровня. Буква Н в данном примере означает блокировку по верхнему уровню.</p>	
<p>Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите. Например: прибор вторичный показывающий с сигнальным устройством. Буквы Н и L означают сигнализацию верхнего и нижнего уровней.</p>	
<p>Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: датчик плотномера с пневмо- или электропередачей.</p>	 <p>Плотность 0,8–0,9 г/см²</p>

Продолжение таблицы 6.4

<p>Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту. Например: прибор показывающий для измерения толщины стальной ленты.</p>	
<p>Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите. Например: командный электропневматический прибор (КЭП), многоцепное реле времени.</p>	
<p>Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите. Например: прибор влагомера вторичный.</p>	
<p>Прибор для измерения электрической величины показывающий, установленный по месту. Например прибор для измерения: – напряжение; – сила тока; – мощность.</p>	
<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик рН-метра.</p>	
<p>Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту. Например: газоанализатор показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах.</p>	
<p>Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: прибор вторичный самопишущий регулятора концентрации серной кислоты в растворе.</p>	
<p>Прибор для измерения радиоактивности показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: прибор для показания и сигнализации предельно допустимых концентраций α- и β-лучей.</p>	
<p>Прибор для измерения скорости вращения, привода регистрирующий, установленный на щите. Например: прибор вторичный тахогенератора.</p>	
<p>Прибор для измерения нескольких разнородных величин регистрирующий, установленный по месту. Например: дифманометр-расходомер самопишущий с дополнительной записью давления. Надпись, расшифровывающая измеряемые величины, наносится справа от прибора.</p> <p>Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий.</p>	 

Окончание таблицы 6.4

<p>Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: устройство электронно-тензометрическое сигнализирующее.</p>	
<p>Прибор для контроля погасания факела в печи бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите. Например: прибор вторичный запально-защитного устройства.</p>	
<p>Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной и выходной сигналы электрические. Например: преобразователь измерительный, служащий для преобразования т. э. д. с. термометра термоэлектрического в сигнал постоянного тока.</p>	
<p>Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал пневматический, выходной – электрический.</p>	
<p>Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент К, установленный на щите.</p>	
<p>Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т. д.). Например: магнитный пускатель, контактор и т. п. Применение резервной буквы N должно быть оговорено на поле схемы.</p>	
<p>Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления (включение, выключение двигателя; открытие, закрытие запорного органа, изменение задания регулятору), установленная на щите. Например: кнопка, ключ управления, задатчик.</p>	
<p>Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите. Например: кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой</p>	
<p>Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для ПАЗ верхнего уровня и нижнего уровня с выводом сигнала при четырех значениях уровня.</p>	
<p>Клапан регулирующий, закрывающий при прекращении подачи энергии с функцией ручного управления</p>	

Примечание: В изображении прибора или аппарата для всех примеров вместо окружности допускается использовать квадрат или прямоугольник.

6.5 Графическое выполнение функциональных схем

Функциональные схемы выполняются на стандартных листах формата А4–А0. При выполнении схемы на нескольких листах все пояснения выполняются на первом листе над основной надписью.

Заполнение таблицы рекомендуется осуществить в следующем порядке:

1. Условные обозначения трубопроводов.
2. Условные обозначения приборов и ТСА.
3. Буквенные обозначения, применяемые для обозначения контролируемых величин или функциональных признаков приборов, сокращения, принятые для отдельных блоков, устройств.

Линии связи между приборами и ТСА на функциональной схеме изображают однолинейно тонкими сплошными линиями. Подвод линии связи к символу прибора показывается в любой точке окружности. Линии связи выполняются по возможности наикратчайшим путём с минимальным числом изгибов и пересечений. Пересечения линиями связи изображения технологического оборудования и трубопроводов допускаются, а обозначений приборов и ТСА – нет. При пересечении, ответвлении и слиянии линий связи в случаях функционального взаимодействия на месте пересечения становится точка. Линии связи должны точно отображать функциональные связи элементов и приборов от начала до конца прохождения сигнала в соответствии с функциями данного контура управления или регулирования. Для сложных объектов с большим количеством используемых приборов и ТСА для улучшения чтения допускается линии связи разрывать. При этом в местах разрыва оба конца линии связи нумеруются одной арабской цифрой. Такая нумерация выносится основной базовой линией вверх или вниз от технологического оборудования. Нумерация разрывов линии связи со стороны щитовых приборов дается в порядке возрастания номеров.

На участках линий связи со стороны приборов, изображённых в прямоугольниках щитов или прямоугольником «Приборы местные» слева, непосредственно у подхода их к первому прямоугольнику, указывают предельные рабочие значения измеряемых или регулируемых величин.

Позиции приборов и ТСА, изображенных на функциональной схеме, состоят из двух частей:

1. Цифровое обозначение, присваиваемое комплекту приборов.
2. Буквенные индексы в виде строчных букв русского алфавита, присваиваемые отдельным элементам, входящим в комплект.

Комплектом называется совокупность отдельных функционально связанных элементов, выполняющих определённую задачу. Отдельным прибором, не входящим в комплект, присваиваются позиции, состоящие

только из порядкового номера. При нехватке букв русского алфавита используют двухбуквенное обозначение, за исключением букв з, о, ё, ы, ъ, ь.

Присвоение позиций комплектам, а также отдельным приборам и ТСА, осуществляется при записи их в заказную спецификацию, являющуюся необходимым документом для чтения функциональных схем, в следующей последовательности:

1. Приборы, регуляторы, устройства к ним, сгруппированные в следующие параметрические группы:

- а) приборы для измерения и регулирования температуры;
- б) приборы для измерения давления и разрежения;
- в) приборы для измерения расхода, количества вещества и уровня;
- г) приборы для измерения и регулирования состава, количества вещества;
- д) прочие приборы, регуляторы и комплектные устройства.

Комплекты приборов и аппаратуры взаимосвязанных систем измерения и регулирования могут выделяться в отдельные группы.

2. Машины централизованного контроля, управления и комплектные устройства к ним:

- а) машины централизованного контроля;
- б) машины централизованного управления;
- в) станции централизованного управления.

3. Управляющие вычислительные машины и комплектные устройства к ним:

- а) управляющие вычислительные машины;
- б) вычислительные машины;
- в) счетно-перфорационные устройства;
- г) клавишные вычислительные машины;
- д) отдельные вычислительные приборы и устройства.

4. Комплектные устройства телеконтроля и управления.

Буквенные обозначения присваивают каждому элементу комплекта в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала (от устройств получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс). В схемах каскадного или связанного регулирования, если прибор или регулятор связан с несколькими первичными измерительными преобразователями, то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, необходимо отнести к той функциональной группе, на которую оказывается воздействие. Одинаковым комплектам или однотипным элементам присваиваются одинаковые позиции вне зависимости от места их установки.

Электроаппаратура изображается на функциональных схемах с буквенным и цифровым обозначением, которые приняты по принципиальным электрическим схемам и состоят из буквенного обозначения и порядкового номера.

Позиционное обозначение электроаппаратуры образуется только с использованием латинских букв.

Позиции приборов и ТСА, присвоенные им по спецификации, и позиционные обозначения электроаппаратуры сохраняются в остальных документах проекта. Позиции приборов и ТСА, позиционные обозначения электроаппаратуры проставляют в нижней части УГО прибора, а если оно не помещается, то наносят справа от условного обозначения или над ним.

Для выполнения функциональных схем используют линии следующей толщины:

1. Контурные линии для изображения технологического оборудования: 0,2–0,5 мм.
2. Трубопроводы: 0,5–1,5 мм.
3. Обозначения приборов и ТСА: 0,5–0,6 мм.
4. Линии связи и горизонтальные разделительные линии внутри обозначения приборов: 0,2–0,3 мм.
5. Прямоугольники щитов и пультов: 0,5–1,0 мм.
6. Выноски: 0,2–0,3 мм.

При одинаковой толщине линий различного назначения их вычерчивают по толщине в противоположных пределах.

Для цифр и букв позиций, позиционных обозначений и надписей применяют следующие размеры шрифта:

1. Для позиций – цифры: 3,5 мм.
Буквы (строчные): 2,5 мм.
2. Для позиционных обозначений – буквы и цифры: 3,5 мм.
3. Для буквенных обозначений измеряемых величин и функций, выполняемых приборами, – 2,5 мм.
4. Для пояснительного текста и надписей – 3,5–5 мм.

Расстояния между параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм. В надписях и текстах используются общепризнанные сокращения слов.

7 ВЫБОР И РАСЧЁТ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

При выборе приборов и технических средств автоматизации необходимо учитывать характер технологического процесса, условия пожаро- и взрывоопасности, токсичность и агрессивность окружающей среды; параметры и физико-химические свойства измеряемой среды; дальность передачи сигналов информации от места установки измеряемых преобразователей до пунктов контроля и управления.

Требования к качеству работы системы автоматического контроля включают в себя основные метрологические данные: точность измерения; порог чувствительности; быстродействие системы. Общая методика выбора приборов изложена в учебных пособиях. Методика выбора приборов и средств автоматизации в условиях пожаро- и взрывоопасности изложена в работах.

7.1 Выбор датчиков, основные принципы и критерии выбора

Все датчики классифицируются по измеряемому параметру. Помимо этого, они также могут быть классифицированы как пассивные или активные. В пассивных датчиках мощность, необходимая для получения выхода, обеспечивается самим измеренным физическим явлением (например, температурой), тогда как для активных датчиков требуется внешний источник питания.

Кроме того, датчики классифицируются как аналоговые или цифровые на основе типа выходного сигнала. Аналоговые датчики производят непрерывные сигналы, которые пропорциональны воспринимаемому параметру и обычно требуют аналого-цифрового преобразования перед подачей на цифровой контроллер.

Цифровые датчики, с другой стороны, производят цифровые выходы, которые могут напрямую взаимодействовать с цифровым контроллером. Часто цифровые выходы производятся путем добавления аналого-цифрового преобразователя в чувствительный блок.

Если требуется много датчиков, более экономично выбирать простые аналоговые датчики и связывать их с цифровым контроллером, оснащенным многоканальным аналого-цифровым преобразователем [6,7].

7.2 Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы

Сигналы – это материальные носители информации, которые передают данные от источника к потребителю. Они могут быть физическими или представлены математическими моделями.

Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы – это три разных вида сигналов, которые используются для передачи и обработки информации. Они отличаются по способу представления данных, физическим свойствам и применению в различных областях.

Любая физическая величина по характеру изменения ее значения может быть постоянной (если она имеет только одно фиксированное значение), дискретной (если она может иметь два или более фиксированных значений), или аналоговой (если она может иметь бесчисленное множество значений). Все эти величины могут быть преобразованы в цифровую форму.

Аналоговым (т. е. непрерывно меняющимся во времени) называется такой сигнал, который может быть представлен непрерывной линией из множества значений, определенных в каждый момент времени относительно временной оси.

Значения аналогового сигнала произвольны в каждый момент времени, поэтому он может быть в принципе представлен как некая непрерывная функция (зависящая от времени как от переменной) либо как кусочно-непрерывная функция времени.

Непрерывные сигналы генерируются непрерывными процессами и системами. Это, например, ЭЭГ – возникает из-за электрической активности головного мозга, ЭКГ – вырабатывается электрической активностью сердца, выход датчика, например, такого как датчик частоты вращения – тахогенератор и т. п.

Аналоговым сигналом можно назвать, например, звуковой сигнал, генерируемый обмоткой электромагнитного микрофона или ламповым акустическим усилителем, поскольку такой сигнал непрерывен и его значения (напряжение или ток) сильно отличаются друг от друга в каждый момент времени. Это непрерывное изменение амплитуды и частоты сигнала позволяет точно передавать нюансы звука, что особенно важно в музыкальной индустрии и аудиотехнике.

Аналоговые сигналы также широко используются в различных измерительных приборах, таких как термометры и манометры, где они позволяют точно отслеживать изменения физических величин. В этих устройствах аналоговые сигналы часто отображаются в виде непрерывных показаний на шкалах, что дает возможность оперативно контролировать и регулировать параметры различных технологических процессов [8].

На приведенном ниже рисунке 7.1 изображен пример подобного рода аналогового сигнала (графически аналоговый сигнал выглядит как синусоида).

Аналоговые величины могут иметь бесконечное множество значений в определенных пределах. Они непрерывны и их значения не могут изменяться скачками.

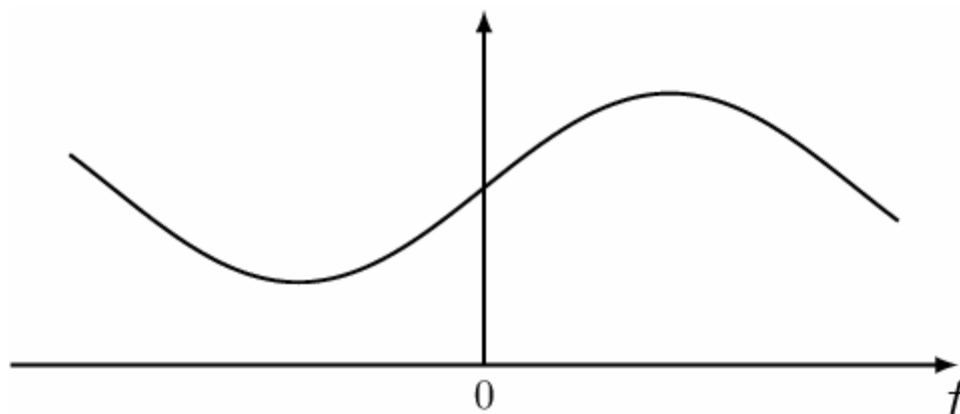


Рисунок 7.1 – Вид аналогового сигнала

Пример аналогового сигнала (рис. 7.2): термопара передает в аналоговом виде значение температуры в программируемый логический контроллер, который управляет с помощью твердотельного реле температурой в электрической печи [8,9].

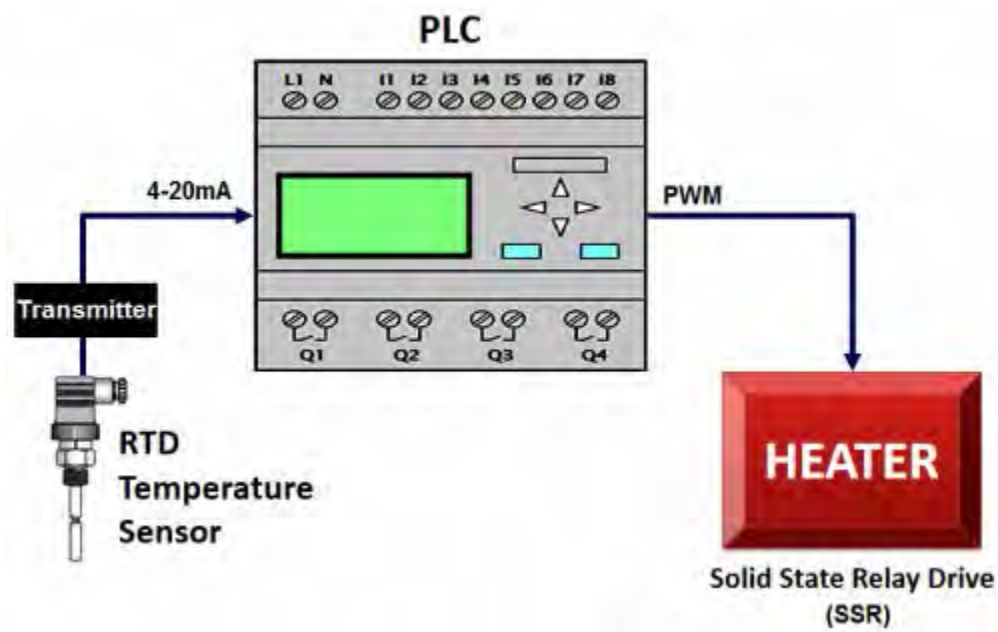


Рисунок 7.2 – Подключение датчика с аналоговым сигналом

Свойства аналоговых сигналов:

- Нельзя дискретизировать без потери данных из-за своей непрерывности.

- Внесённые помехи трудноустранимы, хотя можно использовать фильтр частот, если известна полоса пропускания сигнала.

Основные недостатки аналоговых сигналов:

- Подверженность шумам и помехам: Аналоговые сигналы чувствительны к шумам и помехам, которые могут ухудшить качество передаваемой информации. С каждым усилением или передачей сигнала уровень шума увеличивается.

- Сложности хранения и копирования: Качество аналогового сигнала ухудшается при записи на магнитную ленту или винил, так как со временем лента размагничивается, а каждое считывание разрушает носитель. Перезапись вносит дополнительные искажения.

- Сложность интеграции с цифровыми устройствами и синхронизации между собой.

- Ограниченные возможности для обработки.

- Невысокая безопасность передаваемого сигнала.

- Высокая цена на носители информации.

- Большой объем передаваемой информации, часть из которой является лишней.

- Устаревание оборудования: Оборудование для работы с аналоговыми сигналами бывает громоздким и затратным в обслуживании.

Любой аналоговый сигнал может быть представлен в виде соответствующего ему цифрового эквивалента, при этом точность представления зависит от количества разрядов эквивалентного числа.

Для обработки аналоговых сигналов применяются логические элементы.

По физическому признаку различают потенциальный и импульсный способ представления переменных в логических элементах. В потенциальных элементах высокий потенциал соответствует логической единице (1), низкий потенциал – нулю (0). Потенциалы могут быть как положительными, так и отрицательными. При импульсном способе представления чисел наличие импульса – состояние 1, отсутствие его – 0.

Для взаимодействия электронных устройств, обрабатывающих аналоговые сигналы с устройствами, оперирующими двоичными (цифровыми) сигналами, применяют цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи.

Если некий сигнал принимает произвольные значения лишь в отдельные моменты времени, то такой сигнал называют дискретным. Чаще всего на практике применяются дискретные сигналы, распределенные по равномерной временной решетке, шаг которой называется интервалом дискретизации.

Дискретный сигнал принимает определенные не нулевые значения лишь в моменты дискретизации, то есть он является не непрерывным в отличие от аналогового сигнала. Если из звукового сигнала вырезать небольшие кусочки определенного размера через равные интервалы, такой сигнал можно будет назвать дискретным.

Дискретный сигнал состоит из последовательности выборок, которая в общем случае может принимать любое значение. Этот сигнал обычно создается путем дискретизации аналогового сигнала.

Ниже приведен пример формирования подобного дискретного сигнала с интервалом дискретизации T (рис. 7.3). Обратите внимание, что квантуется лишь интервал дискретизации, но не сами значения сигнала.

Дискретные сигналы имеют два, и более, фиксированных значений (количество их значений всегда выражается целыми числами).

Пример простого дискретного сигнала на два значения: срабатывание путевого выключателя (переключение контактов выключателя в определенном положении механизма). Сигнал с путевого выключателя может быть получен только в двух вариантах – контакт разомкнут (нет действия, нет напряжения) и контакт замкнут (есть действие, есть напряжение).

Преимущества дискретных устройств обусловлены во многом тем, что их элементы достаточно просты и надежны. В большинстве случаев они имеют всего два различных состояния: включено – выключено (реле), открыт – заперт (транзистор) и т. д. [8].

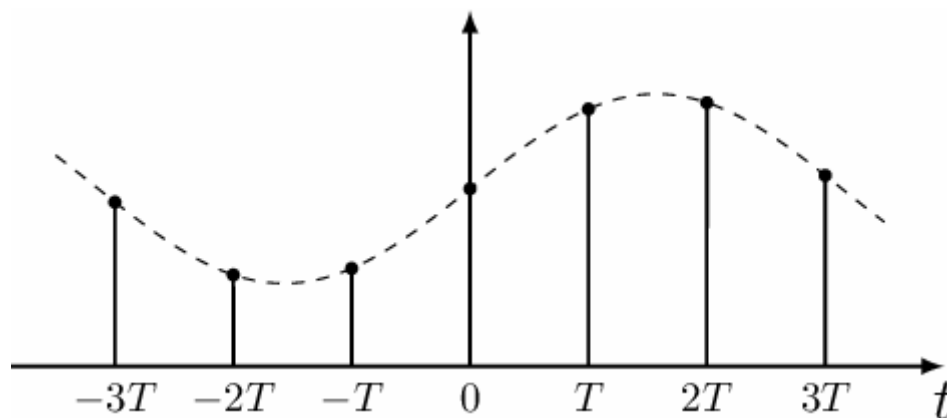


Рисунок 7.3 – Вид дискретного сигнала

Такие элементы могут формировать или перерабатывать сигналы, обладающие только двумя значениями: одно значение сигнала связано с одним состоянием элемента, второе – со вторым. Поэтому часто под названием «дискретный сигнал» подразумевают сигнал с двумя значениями. Физически это означает, что сигнал имеет импульсный характер:

высший уровень – одно значение, низший – другое. Обычно эти уровни обозначаются 1 и 0 [8].

Эта двузначная логика позволяет дискретным устройствам легко интегрироваться в цифровые системы, где они могут быть использованы для управления различными исполнительными механизмами, такими как релейные выходы в программируемых логических контроллерах (ПЛК) или других автоматизированных системах.

Простота и надежность дискретных устройств делают их незаменимыми в промышленной автоматике, где они обеспечивают стабильность и точность управления процессами.

Цифровые сигналы – это особый вид дискретных сигналов, которые могут принимать только определенные фиксированные значения. Эти значения расположены на сетке с определенным шагом. Именно поэтому такой дискретный сигнал называется цифровым.

Цифровые сигналы принимают значения из определенного конечного набора, что позволяет представлять информацию в виде чисел, тогда как дискретные сигналы не могут иметь такого представления.

Основные свойства цифровых сигналов:

- Цифровые сигналы дискретизируются не только по времени, но и по уровню. Это означает, что они состоят из последовательности выборок, которые могут принимать только ограниченное число значений.

- Обычно цифровые сигналы представляются в виде двоичных цифр 0 и 1. Это позволяет легко обрабатывать и передавать информацию в компьютерных системах.

- Последовательности импульсов в цифровых сигналах представляют собой последовательности цифр и могут рассматриваться как двоичные числа. Именно поэтому их называют цифровыми, а связанные с ними методы обработки и устройства также носят это название.

- Цифровой сигнал формируется путем дискретизации и последующего квантования. В результате получается последовательность выборок, которые могут принимать только определенное количество значений. Это позволяет представить цифровой сигнал в виде последовательности целых чисел, что делает его легко обрабатываемым и устойчивым к помехам.

Информация всегда теряется при преобразовании аналогового сигнала в цифровой (как при дискретизации, так и при квантовании). Однако, увеличивая частоту дискретизации и количество уровней квантования, можно приблизиться к исходному сигналу со сколь угодно малым отклонением.

Например, каждый из двух стереоканалов записи аудио компакт-диска может быть представлен как последовательность из 44 100 шестнадцатитбитных чисел в секунду, а цифровой телефонный сигнал в ISDN в виде последовательности 8000 восьмитбитных чисел в секунду.

Практически дискретные и цифровые сигналы в ряде задач отождествляются, и могут быть легко заданы в форме отсчетов с помощью вычислительного устройства.

В отечественной литературе по отношению к описанным сигналам, устройствам и системам используется чаще термин «дискретные». Термин «цифровые» используется реже. Это оправдано тем, что по смыслу последний термин лучше относить к конкретным приборам с цифровым отсчетом (цифровым вольтметрам, амперметрам и т. п.).

Аналоговые сигналы должны быть преобразованы в цифровой формат, прежде чем они могут быть интерпретированы микропроцессором. Этот процесс осуществляется с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который преобразует непрерывные аналоговые сигналы в дискретные цифровые коды [8].

АЦП выполняет два основных этапа: дискретизацию, при которой аналоговый сигнал оценивается в определенные моменты времени, и квантование, которое округляет эти значения до ближайших дискретных уровней, соответствующих цифровым кодам.

После преобразования цифровые данные могут быть обработаны микропроцессором, что позволяет использовать их в различных приложениях, таких как системы управления, измерительные приборы и звукозаписывающая аппаратура.

На рисунке 7.4 приведен пример формирования цифрового сигнала на базе аналогового. Обратите внимание, что значения цифрового сигнала не могут принимать промежуточных значений, а только определенные – целое количество вертикальных шагов сетки.

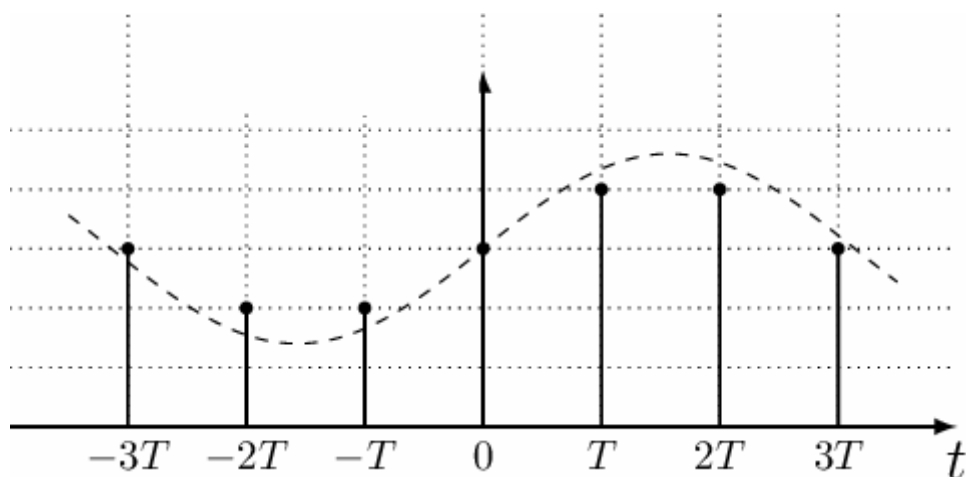


Рисунок 7.4 – Вид цифрового сигнала

Цифровой сигнал легко записывается и перезаписывается в память вычислительных устройств, просто считывается и копируется без потери точности, тогда как перезапись аналогового сигнала всегда со-

пряжена с утратой некоторой, пусть и незначительной, части информации.

Обработка цифровых сигналов позволяет получать устройства с очень высокими характеристиками благодаря выполнению вычислительных операций совершенно без потерь качества, либо с пренебрежимо малыми потерями.

Это обеспечивает возможность использования цифровых сигналов в сложных системах обработки информации, таких как компьютеры и телекоммуникационные сети, где точность и надежность являются критически важными факторами.

Кроме того, цифровые сигналы могут быть легко защищены от помех и шума посредством алгоритмов коррекции ошибок, что еще больше повышает их надежность и стабильность в различных условиях эксплуатации. В силу этих достоинств, именно цифровые сигналы повсеместно распространены сегодня в системах хранения и обработки данных [8].

7.3 Унифицированные аналоговые сигналы в системах автоматики

Обычно выходной сигнал от датчика требует последующей его обработки (унификация), прежде чем сигнал может быть подан в контроллер. Выходной сигнал датчика может быть демодулирован, усилен, отфильтрован и изолирован, так что сигнал может быть принят обычным аналого-цифровым преобразователем контроллера. Вся электроника интегрирована в одну микросхему и может быть непосредственно сопряжена с контроллерами [8].

Удобнее всего унифицировать аналоговые сигналы от различных датчиков, чтобы контроллеры обрели универсальность и пользователю не приходилось для каждого датчика подбирать свой индивидуальный вид интерфейса, а для каждого интерфейса – свой датчик.

Пусть характер сигналов ввода-вывода станет унифицированным – решили разработчики, ведь при таком подходе процессы разработки систем автоматизации и блоков автоматики для промышленности сильно упростятся, а устранение неисправностей, обслуживание и модернизация оборудования станут значительно гибче. Даже если один датчик выйдет из строя, то вовсе не придется искать точно такой же, достаточно будет подобрать аналог с соответствующими выходными сигналами.

Измерения температуры среды, оборотов двигателя, давления в жидкости, механического напряжения образца, влажности воздуха и т. д. – зачастую осуществляется путем обработки непрерывных аналого-

вых сигналов, получаемых с соответствующих датчиков, при этом автоматически корректируется непрерывная работа сопряженного устройства: нагревательного элемента, частотного преобразователя, насоса, пресса и т. д.

В качестве аналогового сигнала наиболее часто служит либо сигнал напряжения, изменяющийся в диапазоне от 0 до 10 В, либо токовый сигнал, изменяющийся в диапазоне от 4 до 20 мА.

Когда используется унифицированный сигнал напряжения от 0 до 10 В, то этой непрерывной последовательности напряжений от 0 до 10 В ставится в соответствие последовательность измеряемых физических величин, например давлений или температур.

Скажем, температура изменяется от -30 до $+125$ °С, при этом напряжение изменяется от 0 до 10 В, причем 0 вольтам соответствует температура в -30 °С, а 10 вольтам $+125$ °С. Это может быть температура реагента или обрабатываемой детали, причем промежуточные значения температуры будут иметь строго определенные значения напряжения из обозначенного диапазона. Зависимость здесь не обязательно линейна.

Таким образом, можно осуществлять управление различными устройствами, а также получать информацию для мониторинга. Например, радиатор с термодатчиком имеет аналоговый выход для отображения текущей температуры: 0 В – температура поверхности радиатора $+25$ °С или ниже, 10 В – температура достигла $+125$ °С – максимально допустимой.

Или подавая от контроллера напряжение от 0 до 10 В на аналоговый вход насоса, задаем давление газа в контейнере: 0 В – давление равно атмосферному, 5 В – давление равно 2 атм, 10 В – 4 атм. Подобным образом можно управлять нагревательными приборами, двигателями станков, клапанами и прочей арматурой и приводами различного назначения.

Второй вид унифицированного аналогового сигнала для управления автоматикой – токовый сигнал 4–20 мА, называемый «токовой петлей». Данный сигнал используется так же для получения сигналов от различных датчиков с целью управления исполнительными устройствами.

В отличие от сигнала напряжения, токовый характер сигнала позволяет передавать его без искажений на значительно большие расстояния, поскольку падения напряжений на линиях и на сопротивлениях автоматически компенсируются. Кроме того очень проста диагностика целостности передающих цепей – если ток есть, значит линия цела, если тока нет – имеет место обрыв. Именно по этой причине наименьшее значение 4 мА, а не 0 мА.

Итак, здесь в качестве источника энергии управляющего сигнала используется источник тока, а не источник напряжения. Соответствен-

но, контроллер исполнительного устройства должен иметь токовый вход 4–20 мА, а преобразователь датчика – токовый выход (рис. 7.5). Допустим, имеется у частотного преобразователя управляющий токовый вход 4–20 мА, тогда при подаче на вход сигнала 4 мА или менее – управляемый привод остановится, а при подаче тока в 20 мА – разгонится на полные обороты.

Между тем, токовые выходы датчиков могут быть как активными, так и пассивными. Чаще выходы пассивные, это значит, что необходим дополнительный источник питания, который включается последовательно в цепь с датчиком и контроллером исполнительного устройства. Для датчика или контроллера с активным выходом – источник питания не требуется, так как есть встроенный.



Рисунок 7.5 – Подключением датчика с выходным токовым сигналом 4–20 мА

Аналоговая токовая петля используется сегодня в инженерной практике чаще, чем сигналы напряжения. Она может использоваться на расстояниях до нескольких километров. Для защиты оборудования применяется гальваническая развязка на оптоэлектронных приборах, например оптронах. Из-за неидеальности источника тока, максимально допустимая длина линии (и максимальное сопротивление линии) зависит от напряжения, от которого питается источник тока.

Например, при типичном напряжении питания 12 вольт сопротивление не должно превышать 600 Ом. Диапазоны токов и напряжений описаны в ГОСТ 26.011-80 «Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные».

Для унификации первичного сигнала с датчика – для преобразования его в напряжение от 0 до 10 В или в ток от 4 до 20 мА, применяют так называемые нормирующие преобразователи (рис. 7.6). Такие нормирующие преобразователи выпускаются для датчиков температуры, влажности, давления, веса и т. д.

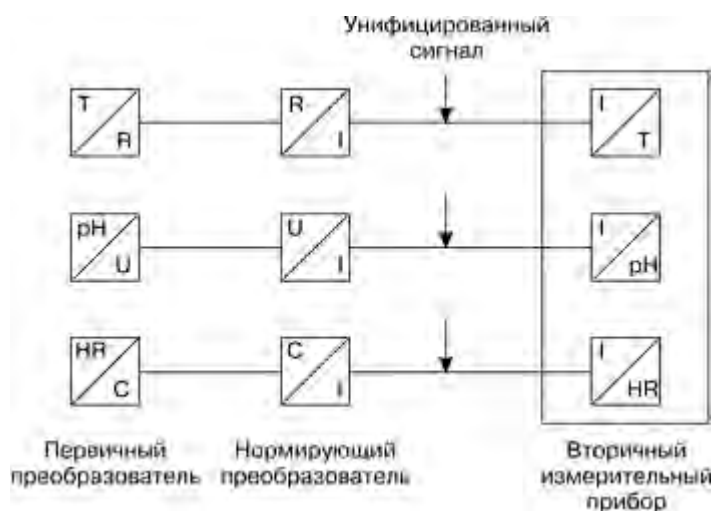


Рисунок 7.6 – Схема нормирующего преобразователя

Производитель датчика обычно предоставляет калибровочные кривые. Если датчики стабильны, то нет необходимости их перекалибровать. Тем не менее, датчик должен быть перекалиброван после его интеграции с системой управления. Это по существу требует, чтобы для датчика был установлен известный входной сигнал, и чтобы его выходной сигнал регистрировался для установления правильного масштабирования.

Если датчик используется для измерения, изменяющегося во времени входного сигнала, необходима динамическая калибровка. Использование синусоидальных входов – самый простой и надежный способ динамической калибровки.

При выборе подходящего датчика для определения требуемого физического параметра необходимо учитывать ряд статических и динамических факторов. Ниже приведен список типичных факторов:

1. Диапазон – разность между максимальным и минимальным значением порога измерения параметра.
2. Разрешение – наименьшее изменение, которое может заметить датчик.
3. Точность – разница между измеренным значением и истинным значением.
4. Прецизионность – Возможность повторного измерения с заданной точностью.
5. Чувствительность – отношение изменения выходного сигнала к изменению входного.
6. Смещение нуля – ненулевое выходное значение при нулевом входном сигнале.
7. Линейность – процент отклонения от наиболее подходящей линейной калибровочной кривой.

8. Дрейф нуля – изменение выходного сигнала из нулевого значения в течение определенного периода времени при отсутствии изменения входного сигнала.

9. Время отклика – временной интервал между входным и выходным сигналами.

10. Полоса пропускания – частота, при которой выходная величина падает на 3 дБ.

11. Резонанс – частота, при которой происходит пик выходной величины.

12. Рабочая температура – диапазон температур, при котором датчик должен использоваться.

13. Мертвая зона – диапазон значений измерения, который не может измерить датчик.

14. Отношение сигнал/шум – отношение между амплитудами сигнала и шумом на выходе.

Выбор датчика, который удовлетворяет всем вышеперечисленным требованиям, к требуемой спецификации затруднен. Например, выбор датчика положения с точностью до микрометра в диапазоне одного или несколько метров исключает большинство датчиков. Во многих случаях отсутствие необходимого датчика требует перестройки всей системы.

Как только вышеупомянутые функциональные факторы будут удовлетворены, формируют список датчиков. Окончательный выбор датчиков будет зависеть от размера, степени формирования сигнала, надежности, ремонтпригодности и стоимости [8,10].

Пример 7.1 Выбор средств измерения технологических переменных

Задание. Выбрать датчик для измерения температуры на входе сборника, температура воды – 50 °С, давление воды – 500 кПа, погрешность измерения температуры 1 %.

Выбор датчика температуры осуществляем по следующим требованиям:

- 1) температура измеряемой среды – 50 °С;
- 2) давление измеряемой среды – 500 кПа;
- 3) погрешность измерения температуры – 1 %.
- 4) тип контролируемой среды – вода;
- 5) класс защиты от попадания твердых частиц – не ниже IP54.
- 6) параметры окружающей среды – температура 20 °С, влажность 60 %.

Этим требованиям удовлетворяет термопреобразователь сопротивления ДТС марки 100М фирмы «Owen», технические характеристики которого представлены в таблице 7.1.

Схема внутренних соединений проводов датчиков с кабельным выводом приведена на рисунке 7.7.

Таблица 7.1 – Технические характеристики термопреобразователя сопротивления

Характеристика	Значение
Номинальная статическая характеристика (НСХ)	100М
Диапазон измеряемых температур, °С	-50...+150
Класс допуска	С
Показатель тепловой инерции, сек, не более	10...30
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54; IP65
Минимальная глубина погружения, мм	50
Температура окружающей и контролируемой среды, °С, не более	130

Рассчитаем погрешность измерения температуры датчика в соответствии с классом допуска:

$$\delta T = 0,6 + 0,01 \cdot |T_{\text{ИЗМ}}| = 0,6 + 0,01 \cdot 50 = 0,65 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $|T_{\text{ИЗМ}}|$ – абсолютное значение температуры измеряемой среды, °С.

Так как $\delta T = 0,65 \text{ } ^\circ\text{C} < 1 \text{ } ^\circ\text{C}$, следовательно датчик температуры выбран верно.

Код заказа: ОВЕН ДТС054-100М.С3.60/1.Т4.

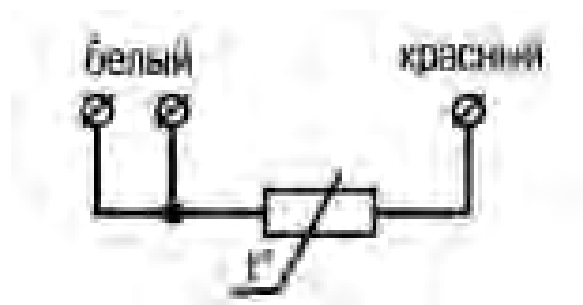


Рисунок 7.7 – Схема внутренних соединений проводов датчиков с кабельным выводом

7.4 Выбор контроллера и модулей ввода/вывода

Современный рынок контроллеров и программно-технических комплексов весьма разнообразен. Выбор контроллеров для системы управления обусловлен большим числом разнородных факторов, зависящих, прежде всего от того, является ли система вновь проектируемой или решаются задачи модернизации существующей системы. В последнем случае имеют значение факторы преемственности программно-аппаратных средств, подготовка обслуживающего персонала и службы

ремонта, наличие сопроводительной документации и ее освоение, запас комплектующих, выявленные показатели надежности (наработка на отказ, срок службы, ремонтпригодность и др.) [10].

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. При выборе контроллера для систем управления основной задачей является, естественно, наиболее полное удовлетворение технических требований на разработку автоматической системы (требования к информационным, управляющим и вспомогательным функциям, а также к техническому, программному, метрологическому и организационному обеспечению, к диагностике и техническому обслуживанию системы и др.).

Контроллером в технике регулирования называется управляющее устройство, которое осуществляет регулирующие или контролирующие функции в автоматической системе (АС).

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 устройство цифровой обработки информации, называемое программируемым логическим контроллером (ПЛК). ПЛК включает в себя процессорный модуль и модули ввода-вывода (устройства сопряжения с окружающими объектами – УСО).

Контроллер представляет собой микропроцессорное устройство, в едином конструктиве которого выполнены центральный процессор (сопроцессоры), память, включающая память программ и память переменных (как правило, энергонезависимая), встроенный порт (или порты) для выхода в сеть, фиксированное число каналов аналогового и (или) дискретного ввода/вывода, слот расширения для подключения дополнительных модулей, индикаторы состояния контроллера. В состав контроллера могут входить источник питания, встроенный регулятор, ЖК-дисплей.

Контроллер, реализованный на одном кристалле, называется микроконтроллером. Современный микроконтроллер является большой цифровой интегральной схемой, объединяющей миллионы выполненных по микронным технологиям транзисторов. Архитектура микроконтроллера включает в себя структуру, отражающую состав изделия, и его программноматематическое обеспечение.

Типовая структура микроконтроллера изображена на рисунке 7.8. Микроконтроллер состоит из трех основных элементов, связанных си-

стемными шинами: процессорного ядра, памяти и набора устройств ввода/вывода различного назначения.

Процессорное ядро (MCU – Microprocessor Core Unit) является основой микроконтроллера. Оно выполняет все вычислительные операции и, одновременно, управляет работой всех остальных элементов схемы. По системным шинам процессорное ядро обменивается данными с памятью и различными устройствами ввода/вывода, интегрированными на кристалл. Разрядность процессорного ядра определяет разрядность микроконтроллера [10,11].

В памяти (Memory) хранится программа работы микроконтроллера, исходные данные и все промежуточные результаты вычислений. Память состоит из множества многоразрядных ячеек, каждая из которых имеет свой адрес. По этому адресу процессорное ядро находит конкретную ячейку памяти в процессе обмена. Память микроконтроллера обычно разделена на две части: память данных (Data Memory) и память программ (Program Memory). В памяти данных хранятся результаты промежуточных вычислений, в памяти программ – программа, по которой работает микроконтроллер. Память программ микроконтроллера энергонезависима, при отключении питания в ней сохраняется записанная программа.

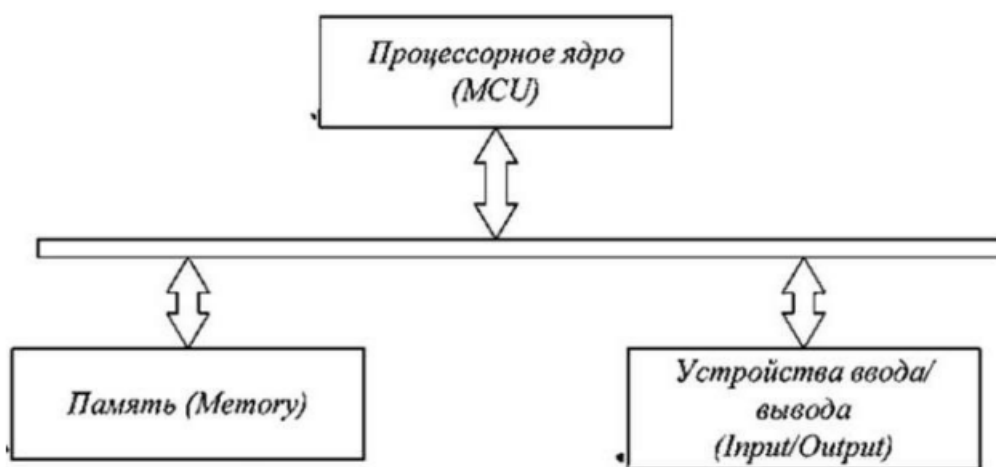


Рисунок 7.8 – Структура микроконтроллера

Устройства ввода/вывода различных типов обеспечивают взаимодействие микроконтроллера с внешним миром. Эти блоки могут выполнять самые различные функции:

- ввод и вывод информации;
- подсчет внешних событий и интервалов времени; передача внешних запросов на процессорное ядро;
- аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразования сигналов;
- сравнение различных величин;

– контроль за напряжением питания и др.

Для процессорного ядра любое устройство ввода/вывода представляется в виде одного или нескольких регистров. Каждый регистр имеет свой оригинальный адрес, по которому процессорное ядро находит его в процессе работы.

Программа работы микроконтроллера хранится в памяти в виде последовательности команд (инструкций). В ходе работы процессорное ядро последовательно извлекает из памяти инструкции, расшифровывает и выполняет их. В зависимости от инструкции в ядре выполняются различные арифметические и логические операции, пересылки данных. При необходимости, в процессе выполнения инструкции, процессорное ядро обращается за данными к ячейкам памяти и функциональным блокам, либо пересылает в них результаты вычислений. Множество инструкций, которые понимает процессорное ядро, образует систему команд микроконтроллера.

Практически все ведущие производители разрабатывают целые семейства микроконтроллеров с так называемой модульной структурой. При этом процессорное ядро для всего семейства неизменно, а память и состав функциональных блоков у каждого микроконтроллера различны. Процессорное ядро всегда имеет свою оригинальную схему и, обязательно, оригинальное имя. Например, микроконтроллеры фирмы Motorola построены на базе ядра HC05 и HC08, фирма Intel создала ядро MCS-51 и MCS-96, контроллеры фирмы Microchip строятся на базе ядра PIC2, PIC16, PIC17, PIC18, фирма Atmel усиленно развивает семейство микроконтроллеров с ядром AVR.

Модульные контроллеры состоят из функциональных модулей, установленных в корпусе (корзине, шасси) или монтируемых на DIN-рейку, т. е. модульные контроллеры децентрализованы на отдельные взаимосвязанные блоки. К этим функциональным модулям относятся микропроцессорный модуль, модуль питания, коммуникационные модули и модули ввода/вывода, а также специальные модули. Соединения с другими модулями, например с модулем питания, модулем аналогового ввода и др., осуществляются с помощью разъемов или проводников с наконечниками «под винт». Данная архитектура позволяет увеличить гибкость, скорость пуска – наладки, ремонтпригодность контроллера. Наиболее распространенными являются такие контроллеры: Ремиконт Р-130 – ПО «Промприбор» (Россия), ADAM-8000 – «Advantech» (Тайвань) и др.

Помимо специализированных микропроцессорных контроллеров, традиционно используемых в задачах АСУ ТП, все чаще для этих целей стали применяться PC-совместимые контроллеры. Полная программная и аппаратная совместимость этих устройств с широко распространенными офисными компьютерами обеспечивает существенное сокращение сроков и стоимости работ при создании различных систем автоматиза-

ции производства. Неограниченная номенклатура плат ввода/вывода как аналоговых, так и дискретных, возможность гибкой модернизации систем с использованием современного системного и специализированного программного обеспечения, а также постоянное снижение цен на компьютерную технику – вот основные определяющие факторы при выборе платформы АСУ ТП верхнего и нижнего уровней.

Контроллеры PC-совместимые составляют отдельный класс программируемых контроллеров, значение и роль которых с развитием Internet-технологий существенно возрастает. Эти контроллеры характеризуются наличием встроенной операционной системы (Windows 9x/NT/CE, QNX, MS DOS, Linux, MiniOS7, OS-9 и др.), использованием стандартных системных шин (PC-104, VME, AT96 и др.), возможностью использования стандартного программного обеспечения (ISaGRAF, Си, ТурбоСи, Си++, Паскаль, Assembler, SCADA-систем Trace Mode, InTouch, Citect и др, баз данных), коммуникационных стандартов, наличием OPC-сервера и других PC-совместимых функций.

Контроллеры PC-совместимые, таким образом, могут использовать богатое программное обеспечение независимых производителей, имеют больший объем памяти, чем моноблочные и модульные контроллеры, возможности расширения и модернизации, а также лучшего диагностирования. Однако эти контроллеры зачастую обладают избыточностью вычислительных ресурсов и функций ввиду их универсальности, пониженной надежностью за счет множества компонентов (приложений) на платформе персонального компьютера. Для большинства практических применений влияние этих недостатков может быть устранено или снижено [10,12].

7.5 Устройства сопряжения контроллера с объектом управления

Устройства сопряжения с объектом (УСО) не являются принадлежностью микроконтроллер, но его конкретная техническая реализация определяет, какими видами сигналов микроконтроллер может обмениваться с объектом управления. УСО осуществляют, в случае необходимости, нормализацию сигналов (приведение к унифицированному уровню сигналов), преобразование их в цифровой код и ввод/выводные операции с сигналами измерения и управления.

Конструкция объекта управления и цепи его управления предъявляют определенные требования к структуре УСО. Поэтому структуры УСО не поддаются унификации и в каждом конкретном случае, может быть то или иное техническое решение.

Как видно из рисунка 7.9, к модулям ввода/вывода с помощью электрических кабелей подключаются датчики и исполнительные механизмы. В зависимости от того, служит ли модуль для ввода сигналов с датчиков в систему управления или выводит управляющие сигналы на исполнительные устройства, модули осуществляют, соответственно, аналого-цифровое или цифро-аналоговое преобразование.

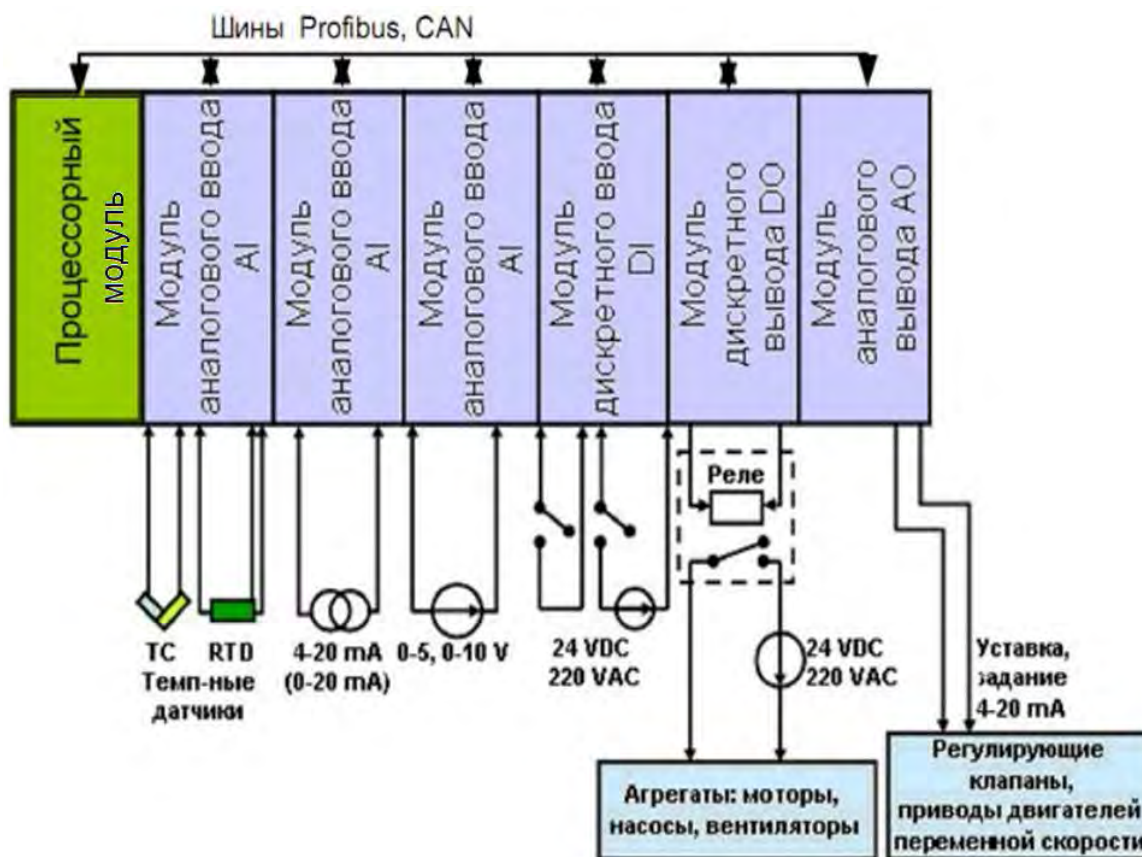


Рисунок 7.9 – Пример структурной схемы ПЛК с различными модулями ввода/вывода информации

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

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

Модули дискретного ввода (DI, discrete input) принимают от датчиков дискретный (прерывистый) электрический сигнал, который мо-

жет 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. [10, 13].

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») формирует на клеммах дискретного выхода или снимает с них напряжение 24 В. Есть вариант, когда модуль в зависимости от логического состояния выхода просто замыкает или размыкает внутренний контакт (модуль релейного типа). Модули DO могут управлять приводами, отсечными клапанами, зажигать светосигнальные лампочки, включать звуковую сигнализацию и т. д. В качестве выходных устройств в этом модуле применяется промежуточные реле, например, 3SJ5 или РЭК.

Модули аналогового вывода (АО, analogue output). Действуют как модули аналогового ввода, только в обратном направлении. Для этого в модуле используются цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). Соответствие диапазона электрического сигнала между выходом модуля и входом, подключенного к нему исполнительного механизма, обязательно.

Модуль ввода/вывода также характеризуются канальностью – числом входов/выходов, а, следовательно, и количеством сигнальных цепей, которые к нему можно подключить. Например, модуль AI4 – это 4-канальный модуль аналогового ввода. К нему можно подключить 4 датчика. DI16 – 16-тиканальный модуль дискретного ввода. К нему можно подключить 16 статусных сигналов с какого-нибудь агрегата.

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

Одной из важнейших особенностей микроконтроллера является наличие разного типа стандартных интерфейсов (RS-485, CAN и др.), которые используются для связи с цифровыми устройствами. Такая

связь возможна благодаря интерфейсному модулю, поддерживающему один из принятых коммуникационных протоколов: Profibus DP, Modbus RTU, Modbus+, CAN, DeviceNet, ControNet и т. д.

Интерфейс служит для двух целей:

1) организация связи устройства с другими устройствами (с компьютером или интеллектуальным датчиком);

2) связь микроконтроллера с другими микросхемами на плате. В тех случаях, когда автономное устройство работает вне какой-либо системы, и не требуется передачи или прием данных от другого устройства, тогда интерфейс нужен лишь для связи микроконтроллера с другими микросхемами [10, 14].

7.6 Выбор по техническим характеристикам контроллера

При выборе контроллера для систем управления основной задачей является, естественно, наиболее полное удовлетворение технических требований на разработку автоматической системы (требования к информационным, управляющим и вспомогательным функциям, а также к техническому, программному, метрологическому и организационному обеспечению, к диагностике и техническому обслуживанию системы и др.).

К наиболее важным характеристикам контроллера относятся:

1) параметры процессорного модуля (тип и быстродействие процессора, объем памяти и др.);

2) наличие сопроцессора. Сопроцессор – специализированный процессор, расширяющий возможности центрального процессора системы, но оформленный как отдельный функциональный модуль. Физически сопроцессор может быть отдельной микросхемой или может быть встроен в центральный процессор;

3) время выполнения логической команды;

4) наличие сторожевого таймера – устройство, определяющее момент зависания процессора и выполняющее автоматическую перезагрузку контроллера;

5) таймера реального времени;

6) число встроенных и наращиваемых входов/выходов);

7) наличие в контроллере необходимого числа модулей (ввода/вывода, специальных, коммуникационных);

8) среда программирования контроллера (удобство и простота программирования).

Также важным показателем контроллера является возможность резервирования модулей и плат, диагностика состояния контроллера и другие факторы (светодиодная индикация каналов и режимов работы,

наличие панели визуализации и клавиатуры, гальваническая изоляция по входам и выходам, степень защиты контроллера и др.).

Характеристикой периферийной части ПЛК является наличие и объем различных видов памяти: ОЗУ (RAM), ПЗУ (ROM), СППЗУ (EPROM), ЭСППЗУ (EEPROM), флеш (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.

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 определенного блока (кластера, кадра или страницы). Обычный размер такого блока составляет 256 или 512 байт, однако в некоторых видах флэш-памяти объем блока может достигать гигабайтов. Стирать можно как блок, так и содержимое всей микросхемы сразу. Преимущества флэш-памяти по сравнению с EEPROM:

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

Недостаток – медленная запись в произвольные участки памяти.

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

Область применения таких контроллеров – сбор данных и системы противоаварийной защиты. В качестве примеров таких контроллеров можно привести контроллеры семейства MicroLogix (Allen-Bradley), Direct Logic DL05 (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), Simatic S7-200, 300 (Siemens). Контроллеры средней мощности, обладая достаточной памятью и быстродей-

ствием, могут обрабатывать уже тысячи переменных дискретного, аналогового и скоростного типа. Применяются для автоматизации небольших управляемых объектов. Это контроллеры PLC-5 (Allen-Bradley), Premium (Schneider Electric), Direct Logic DL405 (Koyo) и другие.

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) [10,11].

7.6.1 Выбор контроллера по характеристике каналов ввода/вывода

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

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

Коммутируемые модулями дискретного ввода/вывода сигналы могут иметь различный уровень напряжения переменного и постоянного тока с различными нагрузками по току:

- 1) напряжение постоянного тока: 12, 24, 48 В;
- 2) напряжение переменного тока: 120 и 240 В.

Уровни коммутируемых сигналов модулями аналогового ввода/вывода могут быть самыми разнообразными:

- 1) по напряжению: 0–5 В, 0–10 В, ± 5 В, ± 10 В;
- 2) по току: 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА.

Есть и специальные модули для ввода в контроллеры сигналов от термопар и термометров сопротивления различных градуировок. Приведенные здесь данные по уровням сигналов, безусловно, не исчерпывают всего разнообразия, представленного на рынке.

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

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

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

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

Под локальным следует понимать такой ввод/вывод, когда модули ввода/вывода размещаются непосредственно на том же шасси, на котором размещен и модуль центрального процессора (такая схема называется иногда крейтовой). Так как количество слотов в шасси ограничено (максимум 16...18 для некоторых контроллеров), то и количество локальных вводов/выводов может быть также ограничено.

Преимущество локальных вводов/выводов заключается в том, что они имеют высокую скорость обновления данных. При всех прочих равных условиях, скорость обработки этих вводов/выводов очень высока. Эта характеристика особенно важна, когда речь идет о регулировании технологических параметров.

Для поддержки большего числа каналов ввода/вывода фирмы-производители аппаратных средств снабдили свои системы возможностью их расширения посредством DIN-рейки. Модули ввода/вывода на DIN-рейке соединяются между собой специализированным коротким кабелем и могут быть отнесены максимум на несколько десятков метров от центрального модуля.

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

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

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

Выбор контроллера по системным требованиям и условиям эксплуатации

При выборе ПЛК рекомендуется выяснить следующие вопросы:

- Какие требуются периферийные устройства?
- Какие требуются характеристики ввод-выводных операций?
- Применяются ли битовые операции или только числовые?
- Сколько требуется манипуляций для обработки данных?
- Должен ли ПЛК управляться по прерываниям, по готовности или по командам человека?

• Каким количеством устройств (битов ввода/вывода) необходимо управлять?

• Какие устройства из числа многих возможных типов устройств ввода/вывода I/O (input/output) должны контролироваться управляться: терминалы, выключатели, реле, клавиши, сенсоры (температура, свет, напряжение и т. д.), визуальные индикаторы (LCD дисплеи, LED), аналого-цифровые (A/D), цифроаналоговые (D/A) преобразователи?

- Сколько напряжений сети питания требуется для контроллера?
- Насколько отказоустойчив источник напряжения?
- Будет ли работать ПЛК при напряжении сети питания технологической площадки?

• Должны ли напряжения удерживаться в узком фиксированном диапазоне изменений, или же ПЛК может работать при большой нестабильности?

- Какой необходим рабочий ток?
- Должен ли контроллер работать от сети или от батарей? Если от батарей, то должны ли использоваться перезаряжаемые батареи и если это так, то каково время работы без перезарядки, и какое для нее требуется время?

• Существуют ли ограничения по размеру, весу, эстетическим параметрам, таким как форма и/или цвет?

• Существуют ли какие либо специфические требования к условиям окружающей среды, таким как температура, влажность, атмосфера (взрывоопасная, коррозионная и т. д.), давление/ высота?

- Где должно базироваться пользовательское программное обеспечение: на дисках, флешпамяти или ROM (ПЗУ)?

- Необходима ли работа АС в реальном времени, и если да, то есть ли необходимость приобретения ядра программ реального времени или, возможно, будет достаточно обычной широко используемой версии?

- Достаточно ли персонала и времени для развития собственного ядра программ?

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

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

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 либо микроконтроллер с расширенным, либо с пониженным диапазоном питания.

Микроконтроллеры с расширенным диапазоном питания относительно неприхотливы к напряжению питания и подходят как для устройств с сетевым, так и с автономным питанием. Микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания предназначены для изделий с автономным питанием, т. к. их ток потребления в несколько раз меньше тока потребления других микросхем. В то же время следует помнить, что микроконтроллеры с пониженным диапазоном питания обычно имеют меньшую максимальную частоту тактирования [9, 10].

7.6.2 Модульность структуры контроллера

После определения каналов ввода/вывода (аналоговых и дискретных) следует сделать выбор типа контроллера: моноблочный, модульный, РС-совместимый. Моноблочный контроллер, имеющий, как правило, небольшое число встроенных дискретных входов/выходов и от одного до четырех аналоговых входов/выходов, может использоваться автономно или с дополнительными модулями ввода/вывода сигналов, с организацией обмена данными с контроллером по внутреннему интерфейсу или через коммуникационный порт по сети.

При выборе модульного контроллера обеспечивается большее число каналов ввода/вывода, повышается функциональная надежность контроллера за счет функций самодиагностики, упрощается обслуживание контроллера, допускающее в ряде случаев «горячую» замену модулей (без выключения питания) и ряд др.

При выборе РС-совместимого контроллера за счет возможностей программного обеспечения значительно повышается многофункциональность контроллера, удобство программирования, снижается его стоимость. Однако при этом возможно снижение надежности системы.

7.6.3 Соответствие контроллера Международным стандартам

Имеется в виду выбор контроллера, соответствующего Международному стандарту качества ISO 9001, стандартам шинной архитектуры контроллера (VME, PCI, CompactPCI, MicroPC, PC/104 и др.), стандартным протоколам связи промышленных сетей (Profibus, Modbus, Interbus, CAN, Bitbus и др.), стандартам связи с полевыми приборами (HART-протокол, AS-интерфейс, Fieldbus Foundation, RS-485 и др.), стандартам на операционную систему реального времени (QNX, OS 9000, VxWorks и др.), стандартам на программное обеспечение контроллеров (IEC 61131-3), стандартам на степень защиты корпуса (IEC 529), на габаритные размеры, на ударо- и вибропрочность (IEC 68-2) и др. В ряде случаев допускается соответствие отдельных показателей (например, габаритных размеров, показателей электропитания и др.) отраслевым стандартам (ТУ, ГОСТ).

В случае использования разработок на территории России необходимы сертификаты соответствия Госстандарта России на соответствие требованиям ГОСТа и разрешение Госгортехнадзора на применение в составе систем автоматизации на поднадзорных объектах.

7.6.4 Выбор контроллера по наличию связи с верхним уровнем систем управления

Связь контроллера с верхним уровнем систем управления по интерфейсу Ethernet. Интерфейс Ethernet получил широкое распространение как интерфейс связи средств автоматизации от нижнего до верхнего уровней системы управления. Этот интерфейс обеспечивает высокую скорость передачи данных, низкую стоимость, поддерживается подавляющим большинством производителей программного и аппаратного обеспечения. Через сеть Ethernet серверы и операторские станции верхнего уровня управления предприятием получают непосредственный доступ к данным параметров технологического процесса.

При наличии SCADA-системы, установленной на операторской станции, используется клиент-серверная архитектура связи, при которой SCADA-клиент получает прямой доступ к данным процесса с помощью OPC-сервера. Использование, например, протокола на базе технологии Ethernet Modbus/TCP позволяет легко интегрировать контроллеры со SCADA-системами, поддерживающими протокол Modbus (без необходимости дополнительного драйвера для контроллера).

Дальнейшим развитием связи контроллеров с удаленными операторскими станциями является использование сети Internet и GSM-технологии.

Наличие у PC-совместимого контроллера встроенной SCADA-системы (в настоящее время это Trace Mode и MasterSCADA) позволяет значительно ускорить процесс настройки проекта и повысить эффективность представления информации, снизить затраты на приобретение дорогостоящей SCADA-системы и коммуникационных интерфейсов. К таким контроллерам относятся российские контроллеры Р-130 ТМ, Ломиконт ТМ, Лагуна, Теконик и др.

При этом следует помнить, что применение PC-совместимых контроллеров оправдано лишь при решении небольших задач, отсутствии жестких требований к надежности системы либо ограниченных финансовых возможностях.

При решении задач управления сложными, ответственными процессами, характеризующимися множеством контролируемых и управляемых величин и их физической распределенностью в пространстве, с повышенными требованиями к надежности системы управления, следует отдавать предпочтение классическим модульным контроллерам. В этом случае нужно сформулировать условия для выбора той или иной SCADA-системы.

Для ускорения процессов ввода в эксплуатацию систем регулирования, особенно в случае автоматизации малоизученных объектов управления, крайне важно в структуре программного обеспечения кон-

троллера наличие режима автонастройки параметров ПИД-регулятора – коэффициента усиления, постоянной времени интегрирования, постоянной времени дифференцирования [10].

7.6.5 Показатели надежности и экономические показатели

К показателям надежности относятся время наработки на отказ (желательно иметь 100 тыс. часов и более), срок службы (10 лет и более), ремонтпригодность (возможность легкой замены модулей, блоков) и др. Повышение надежности и точности достигается за счет средств диагностики, прогнозирования отказов, режимов безударного переключения, «горячего» резервирования, гальванической развязки, дублирования и троирования аппаратных средств, рестарта программного обеспечения и другими методами. Экономические показатели, прежде всего снижение стоимости контроллера, достигаются за счет снижения затрат на кабельную продукцию (особенно в случае беспроводной связи с контроллером), исключения в ряде случаев барьеров искробезопасности, использования интеллектуальных датчиков и блоков ввода/вывода [10].

Пример 7.2 Выбор контроллера и модулей ввода/вывода. Задание: выбрать технические средства для системы управления технологическим процессом, на которую поступают 4 дискретных сигнала от сигнализаторов уровня и реле давления, 2 дискретных сигнала с пульта управления, 2 аналоговых токовых сигнала по току 4–20 мА, 1 аналоговый сигнал от датчика температуры (термосопротивления), а также которая формирует сигналы управления 2 запорными клапанами, 1 электроприводом насоса.

Выбор технических средства для системы управления осуществляем по следующим требованиям:

- 1) 6 входных дискретных сигнала;
- 2) 2 входных аналоговых сигнала 4–20 мА;
- 3) 1 входной аналоговый сигнал от термосопротивления платинового Pt 100 с НСХ ($R = 100 \text{ Ом}$ и $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- 4) 3 выходных дискретных сигнала;
- 5) класс защиты от попадания твердых частиц – не ниже IP20;
- 6) параметры окружающей среды – температура 20 °С, влажность 60 %.

В качестве устройства управления выберем модуль центрального процессора «Symbol-100» S-100-CPU фирмы «Европрибор», технические характеристики которого представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Технические характеристики модуля S-100-CPU

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	от 18 до 28
Потребляемый ток (при напр. питания 24 В), мА	140
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+50
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP42
Протокол связи, используемый для передачи информации	Modbus RTU, Modbus, TCP TCP/IPv4

Схема подключения модуля S-100-CPU приведена на рисунке 7.10. Код заказа: S-100-CPU.

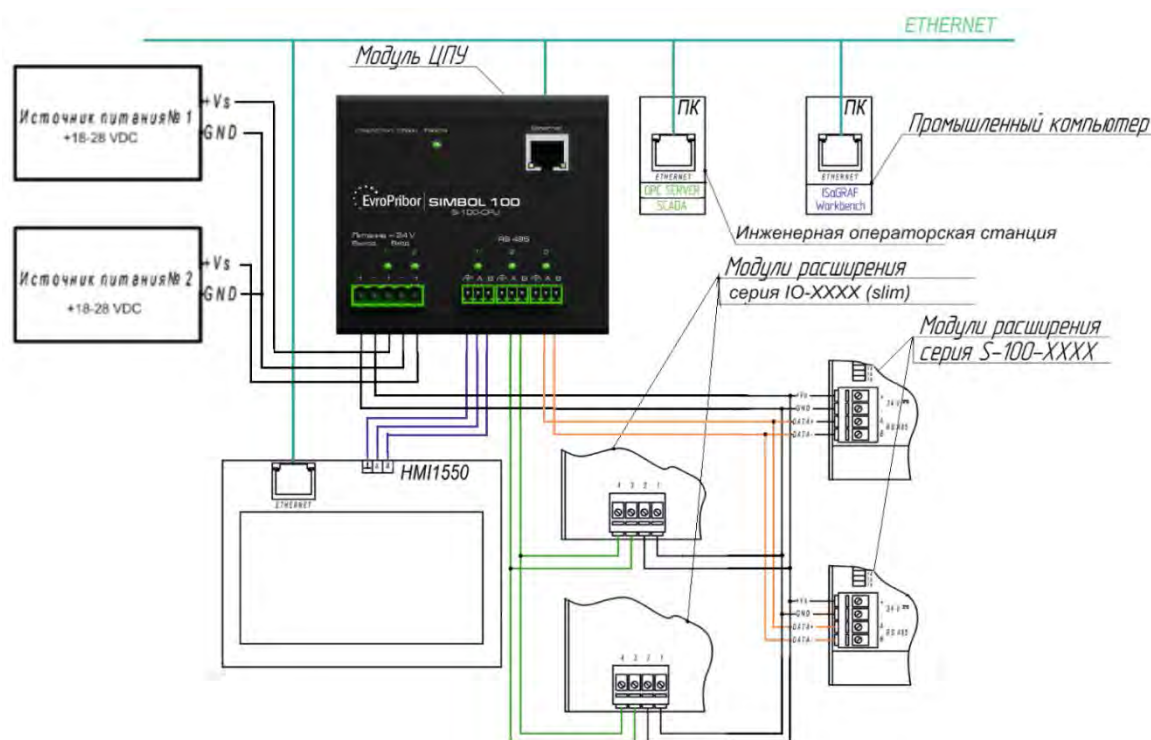


Рисунок 7.10 – Схема подключения модуля S-100-CPU

Для подключения дискретных входных сигналов выберем модуль дискретных входов S-100-DI16, технические характеристики которого представлены в таблице 7.3.

Схема подключения модуля S-100-DI16 показана на рисунке 7.11.

На лицевой панели модуля расположены следующие элементы:

1. Индикаторы режимов работы модуля.
2. Разъем для подключения проводов питания и интерфейса.
3. Разъем для подключения входных сигналов.

Код заказа: S-100-DI16.

Таблица 7.3 – Технические характеристики модуля S-100-DI16

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	от 18 до 28
Потребляемый ток (при напр. питания 24 В), мА	250
Количество входов	16
Напряжение «логической единицы» на входе, В	от 15 до 30
Ток «логической единицы», мА	
– $U_{вх} = 15 В$	4,7
– $U_{вх} = 30 В$	9,7
Напряжение «логического нуля» на входе, В	от 0 до 5
Ток «логического нуля», мА	от 0 до 1,5
Максимальная частота сигнала на входе, кГц	4
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+60
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

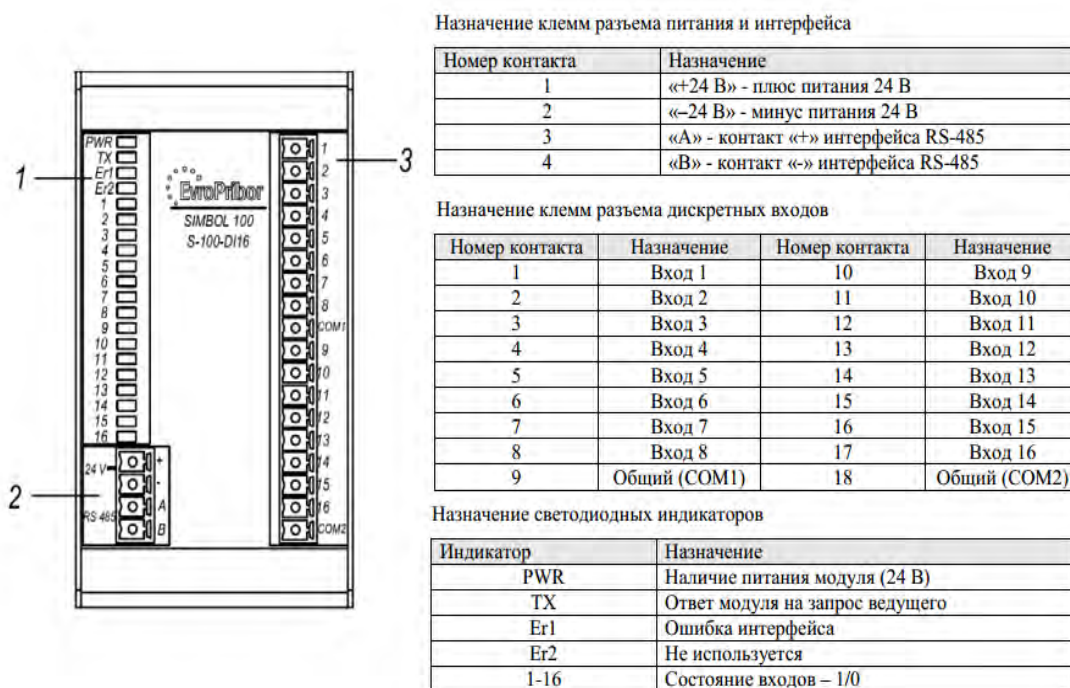


Рисунок 7.11 – Схема подключения модуля S-100-DI16

Для подключения аналоговых входных сигналов выберем модуль аналоговых входов S-100-AI6 фирмы «Европрибор», технические характеристики которого представлены в таблице 7.4.

Схема подключения модуля S-100-AI6 приведена на рисунке 7.12.

На лицевой панели модуля расположены следующие элементы:

1. Индикаторы режимов работы модуля.
2. Разъем для подключения проводов питания и интерфейса.
3. Разъем для подключения входных сигналов.

Код заказа: S-100-AI6.

Таблица 7.4 – Технические характеристики модуля S-100-AI6

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	от 18 до 28
Потребляемый ток (при напр. питания 24 В), мА	250
Количество изолированных аналоговых входов	6
Тип входного сигнала тока, мА: – активный сигнал постоянного тока (питание измерительной цепи от модуля); – пассивный сигнал постоянного тока (питание измерительной цепи от внешних источников питания)	от 4 до 20
Тип входного сигнала – напряжение постоянного тока, В	от 0 до 10
Входное сопротивление канала при измерении постоянного тока, кОм, не более	0,12
Входное сопротивление канала при измерении напряжения постоянного тока, кОм, не менее	1200
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	0,25
Дополнительная погрешность изменением температуры окружающей среды, % на 10 °С, не более	0,1
Время преобразования по одному каналу, мсек, не более	8
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+60
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

Для подключения термосопротивления платинового Pt 100 с НСХ ($R = 100 \text{ Ом}$ и $\alpha = 0,003 \text{ } 85 \text{ } ^\circ\text{C} - 1$), диапазоном измеряемых температур от минус 50 °С до 150 °С выбираем преобразователь измерительный S2-ВТ фирмы «Европрибор» с выходным сигналом от 4 до 20 мА, технические характеристики которого представлены в таблице 7.5.

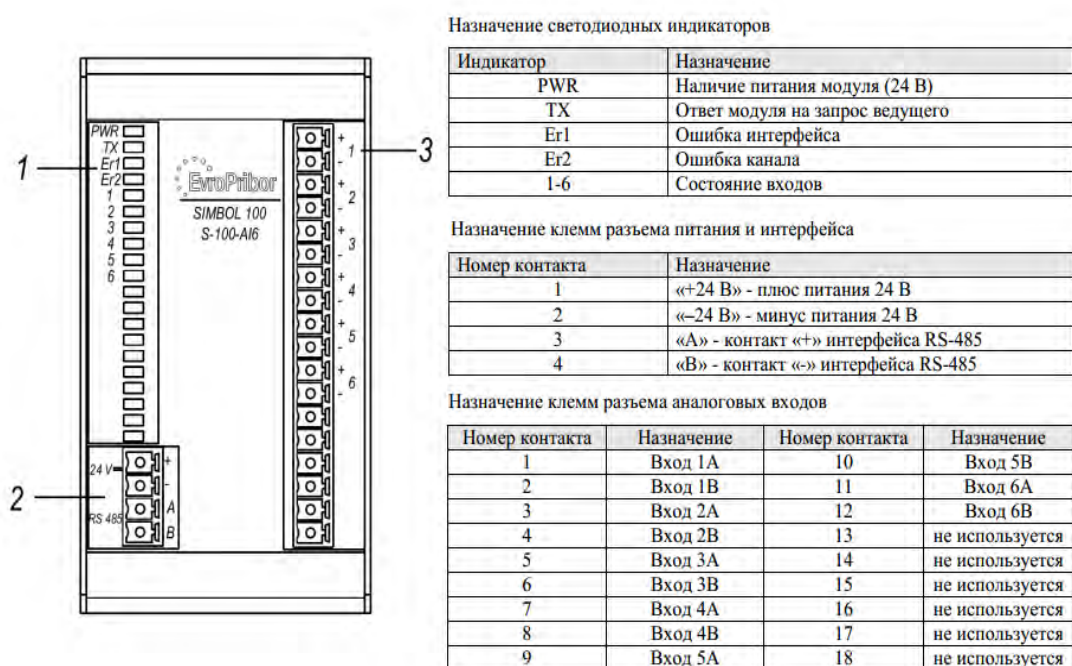


Рисунок 7.12 – Схема подключения модуля S-100-AI6

Таблица 7.5 – Технические характеристики модуля S2-ВТ

Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	от 21,6 до 28,5
Потребляемый ток (при напр. питания 24 В), мА	120
Диапазоны измеряемых температур для: термосопротивлений платиновых ТС (Pt) с $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	-200 °С – 850 °С
термосопротивлений медных ТС (М) с $\alpha = 0,00428 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	-180 °С – 200 °С
термопар типа R, S, В, J,Т, Е, К, N, А, L, М с НСХ	-270 °С – 2500 °С
Входное сопротивление, Ом для преобразователей	50±2
для термопар	1 000 000
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %	0,1
Доп. погрешность, вызванная изменением температуры окружающей среды, % на 10 °С, не более	0,1
Дополнительная погрешность, вызванная изменением сопротивления нагрузки, %, не более	0,02
Дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питания, %, не более	0,05
Диапазон рабочих температур, °С	+5...+60
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

Схема подключения модуля S2-ВТ приведена на рисунке 7.13.

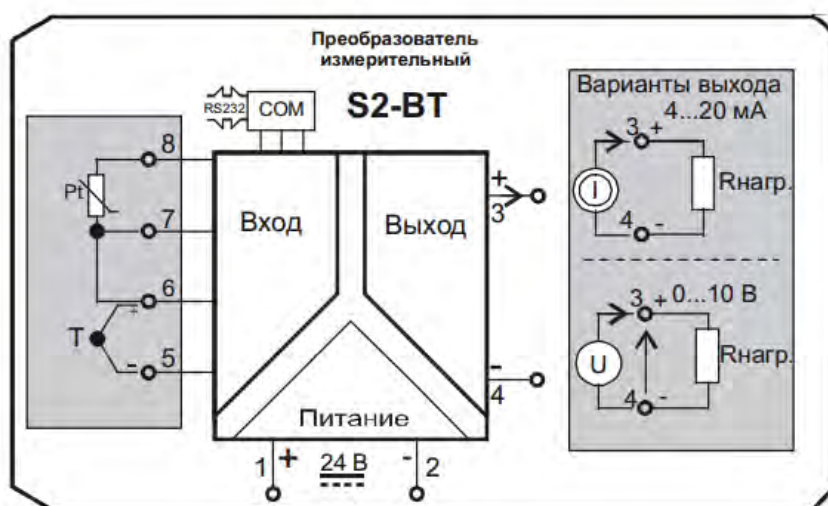


Рисунок 7.13 – Схема подключения модуля S2-ВТ

Для подключения дискретных выходных сигналов выберем модуль дискретных выходов S-100-DO16 фирмы «Европрибор», технические характеристики которого представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Технические характеристики модуля S-100-DO16

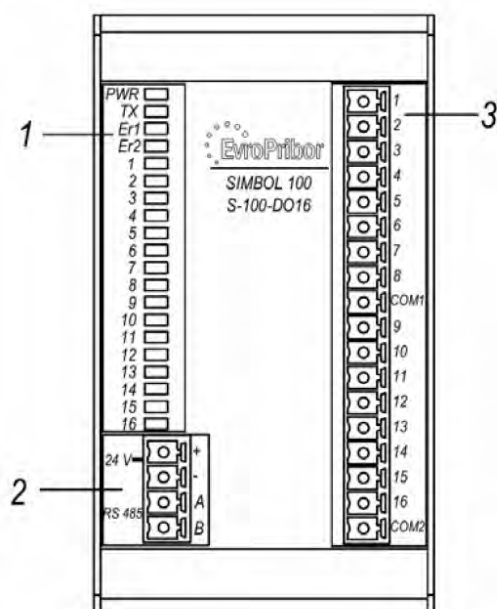
Характеристика	Значение
Напряжение питания, В	от 18 до 28
Потребляемый ток (при напр. питания 24 В), мА	60
Количество входов	16
Максимальное коммутируемое напряжение, В, не более	45
Сопrotивление замкнутого ключа, Ом, не более	0,5
Ток утечки разомкнутого ключа, мкА, не более	10
Максимальный коммутируемый ток одного ключа в группе (остальные разомкнуты), А, не более	2
Максимальный коммутируемый ток группы каналов (непрерывная эксплуатация), А, не более	4
Ограничение выходного тока ключа при коротком замыкании в нагрузке канала, А, не более	6
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+60
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

Схема подключения модуля S-100-DO16 приведена на рисунке 7.14.

На лицевой панели модуля расположены следующие элементы:

1. Индикаторы режимов работы модуля.
2. Разъем для подключения проводов питания и интерфейса.
3. Разъем для подключения входных сигналов.

Код заказа: S-100-DO16.



Назначение светодиодных индикаторов

Индикатор	Назначение
PWR	Наличие питания модуля (24 В)
TX	Ответ модуля на запрос ведущего
Er1	Связь с ведущим потеряна
Er2	Ошибка на выходе
1-16	Состояние входов

Назначение клемм разъема питания и интерфейса

Номер контакта	Назначение
1	«+24 В» - плюс питания 24 В
2	«-24 В» - минус питания 24 В
3	«А» - контакт «+» интерфейса RS-485
4	«В» - контакт «-» интерфейса RS-485

Назначение клемм разъема дискретных выходов

Номер контакта	Назначение	Номер контакта	Назначение
1	Выход 1	10	Выход 9
2	Выход 2	11	Выход 10
3	Выход 3	12	Выход 11
4	Выход 4	13	Выход 12
5	Выход 5	14	Выход 13
6	Выход 6	15	Выход 14
7	Выход 7	16	Выход 15
8	Выход 8	17	Выход 16
9	Общий (COM1)	18	Общий (COM2)

Рисунок 7.14 – Схема подключения модуля S-100-DO16

7.7 Выбор исполнительных устройств

Исполнительное устройство, согласно ГОСТ 14691-69, это устройства систем автоматического управления или регулирования, воздействующие на процессы в соответствии с полученной командной информацией.

Исполнительное устройство через управляющий орган, осуществляет изменение показателей технологического процесса или оборудования в заданных пределах или в заданном направлении.

Регулирующий орган – это устройство, через которое осуществляется регулирование потока вещества или энергии, влияющее на состояние технологического параметра объекта управления.

Регулирующий орган конструктивно может быть представлен простейшим устройством в виде клапана, задвижки, заслонки, а также весьма сложной системой устройств: питатели, дозаторы, транспортеры, насосы, вентиляторы, компрессоры и т. д. вплоть до манипуляторов-роботов.

На рисунке 7.15 представлена классификация исполнительных механизмов.



Рисунок 7.15 – Классификация исполнительных механизмов

Электрические исполнительные механизмы делятся на электромашинные и электромагнитные.

Основным элементом электромашинного исполнительного механизма является электрический двигатель постоянного или переменного

тока. Такие исполнительные механизмы называют электроприводами, предназначенными для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

Электромагнитные исполнительные механизмы выполняются в основном на базе электромагнитов постоянного и переменного тока и постоянных магнитов. Жесткое и упругое соединение узлов систем осуществляют различного рода электромагнитные механические муфты.

Также к электрическим исполнительным устройствам относятся шаговые или импульсные двигатели.

Гидравлические и пневматические двигатели преобразуют энергию рабочей среды, находящейся под давлением, в механическую энергию поступательного или вращательного движения. В качестве рабочей среды в пневмодвигателях используется сжатый воздух или газ, а в гидродвигателях – минеральное масло, синтетические жидкости и т. д.

По конструкции и принципу действия между гидравлическими и пневматическими двигателями нет существенного различия. Гидро- и пневмоприводы в зависимости от конструкции подразделяют на двигатели с поступательным движением (мембранные, сильфонные и поршневые и) и двигатели с вращательным движением (шестеренчатые, лопастные и плунжерные).

Гидро- и пневмодвигатели способны развивать очень большие усилия при малых габаритах. По этим параметрам они превосходят все остальные виды двигателей, они могут работать в значительно более тяжелых условиях эксплуатации. Данные двигатели широко применяются, прежде всего, в устройствах силового привода станков, подъемных механизмов, автоматических манипуляторах, в автомобилях, тракторах и зерноуборочной технике.

По источникам энергии исполнительные механизмы бывают следующих типов:

- электрические;
- преобразующие электрическую энергию в механическую;
- гидравлические, в которых давление жидкости преобразуется в механическую энергию;
- пневматические, в которых энергия сжатого газа преобразуется в механическую энергию;
- комбинированные, использующие комбинации названных типов исполнительных устройств.

По виду воздействия на управляемые ресурсы исполнительные устройства делятся:

- на *устройства релейного действия*, в которых управление осуществляется включением и выключением работы, например, двигателя, нагревателя, клапана для пропуски продукта и т. д.;

• *устройства пропорционального действия*, в которых управление осуществляется путем изменения состояния управляемого органа на определенную величину, пропорциональную поданному коду, например: перемещение задвижки на определенную величину, подача напряжения заданного значения и т. п.

Для выполнения физических действий, связанных с изменением положения определенных частей системы, применяются двигатели, использующие:

- электроэнергию – моторы постоянного тока, переменного тока, амплидины, шаговые двигатели;
- гидравлику – гидромоторы;
- пневматику – пневмодвигатели.

Рассмотрим структурную схему исполнительного устройства. В состав любого исполнительного устройства входят:

- приемное устройство, на которое поступает кодовая информация от системы управления через цепи связи;
- преобразующая схема, которая в зависимости от вида управляющего воздействия может быть релейного или пропорционального (аналогового) типа. Она вырабатывает сигналы, воздействующие на исполнительный орган;
- исполнительный орган, который представляет собой либо двигатель, либо нагреватель, либо задвижку и т. п.

Исполнительное устройство по организации работы может быть:

- замкнутым, т. е. имеется непосредственная обратная связь и контроль за отработкой управляющей величины (рис. 7.16);
- разомкнутым, т. е. без обратной связи и контроля за отработкой управляющей величины. В этом случае контроль производится через систему (рис. 7.17) по изменению сигналов с датчиков процесса.

К исполнительным устройствам относят также индикаторные средства, по которым оператор управляет системой. Эти средства ввиду их специфических характеристик и важности рассмотрим отдельно.

Состав характеристик исполнительных устройств определяется видом управления и типом двигателя, однако имеются и общие характеристики, которые используются для выбора принципов построения исполнительного устройства.

Главными показателями исполнительного устройства являются:

- мощность двигателя, которым оно управляет, и коэффициент полезного действия управляющей схемы;
- погрешность воспроизведения управляемой величины;
- диапазон скоростей отработки двигателем величины, определяемой коэффициентом скорости $K = v_{\max}/u_{\min}$;
- время обработки единичного скачка (постоянная времени устройства).



Рисунок 7.16 – Исполнительное устройство с замкнутым контуром управления



Рисунок 7.17 – Исполнительное устройство с разомкнутым контуром управления

Следующие характеристики связаны с функциональным назначением исполнительных устройств, поэтому приведем только некоторые из них:

- моментные характеристики исполнительных двигателей, которые представляются зависимостью $M = f(n)$, где M – момент; n – частота вращения, об/мин;
- минимальная скорость отработки (это требование связано со слежением за изменением величины, когда должны быть исключены скачки при ее отработке, т. е. должна соблюдаться плавность работы);
- характеристики защиты от аварийных ситуаций (это специфическое требование к исполнительным устройствам, оно вызвано условиями их работы).

При появлении неисправности в работе устройства необходимо исключить возможность поломок или разрушений частей системы (аварии). Для этого предусматриваются различные концевые выключатели, ограничители нагрузки, тока, максимальных скоростей и т. п.

Выделим группу конструкторско-эксплуатационных характеристик исполнительных устройств, включающую:

- объем и габаритные размеры исполнительного устройства, потребляемую мощность и присоединительные размеры;
- надежность работы и срок службы;
- условия работоспособности устройств (вибрацию, температуру, влажность и т. п.);
- стоимость исполнительного устройства и затраты на его эксплуатацию.

Мощность, которой управляет преобразующая схема в исполнительном устройстве, непосредственно зависит от двигателя и его динамических характеристик (коэффициента скорости и постоянной времени), а также точности отработки величины. Чем большей мощностью требуется управлять, тем больше постоянная времени исполнительного устройства.

Приведем некоторые оценки характеристик исполнительных устройств с различными электрическими двигателями. Например, мощности при непосредственном преобразовании кодов составляют от единиц и долей ватта до нескольких киловатт. Коэффициент скорости $K \sim 10 \dots 60$. Динамические характеристики при малых мощностях оцениваются постоянной времени $0,01$ с.

Исполнительные устройства с гидравлическими двигателями применяются при управлении большими мощностями: от единиц до десятков киловатт и более. Они имеют значительно больший коэффициент скорости – до 700. Постоянная времени оценивается до $0,1$ с и существенно зависит от мощности двигателя: чем выше мощность, тем больше постоянная времени.

Если необходимо управление большими мощностями, чем приведенные, то в ряде случаев используются последовательные схемы наращивания мощности. Исполнительное устройство по кодовому сигналу управляет маломощным двигателем, выход которого усиливается следящей системой большой мощности. Подобный путь связан в основном со стремлением использовать известные решения по следящему приводу и сократить время на разработку.

Релейное управление обеспечивает возможность использования более мощных двигателей, однако коэффициент скорости у него равен единице, и плавность перехода из одного состояния в другое практически отсутствует. Точность отработки величины в значительной мере связана со скоростью двигателя.

Релейное управление в силу своей простоты широко используется в системах управления, если оно обеспечивает требования по скорости и плавности работы.

8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Электрические схемы выполняют несколько важнейших функций:

- проектирование. Они позволяют создавать и анализировать новые устройства, определяя взаимосвязи компонентов;
- диагностика. При неисправностях схемы помогают быстро определить проблемные участки;
- обслуживание. Техники и инженеры используют схемы для правильной сборки, разборки и замены компонентов;
- коммуникация. Схемы обеспечивают единый язык для специалистов из разных областей, упрощая передачу идей и требований.

В условиях глобализации и увеличения сложности современных систем унифицированные схемы служат основой для координации работ между специалистами.

8.1 Структура схем

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов и устройств, а также связей между ними, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения, сигнализации.

Принципиальные электрические схемы должны обеспечивать высокую надежность, простоту и экономичность, четкость действий при аварийных режимах, удобство оперативной работы, удобство эксплуатации, четкость оформления.

ГОСТ 2.701-2008 содержит классификацию схем, общие требования к их выполнению, определения, основные понятия. К таким понятиям относят следующие:

- элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение (резистор, трансформатор и т. п.);
- устройство – совокупность элементов, представляющая собой единую конструкцию (блок, плата и т. п.); устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения;
- функциональная цепь – линия, канал определенного назначения;
- линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия;
- установка – условное наименование объекта в энергетических сооружениях.

На чертежах принципиальных электрических схем систем автоматизации изображают:

- цепи и элементы управления, регулирования, измерения, сигнализации, электропитания;
- контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах и контакты аппаратов из других схем;
- диаграммы и таблицы включений контактов переключателей, программных устройств, конечных и путевых выключателей и т.д.;
- перечень элементов.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, но сохраняя пропорции в расположении элементов.

Элементы и устройства на принципиальных электрических схемах могут выполняться совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов, например, катушки, контакты и др. изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу (как бы в собранном виде).

При разнесенном способе составные части элементов и устройств изображают на схеме в разных местах, чтобы более наглядной была последовательность действия отдельных элементов схемы (строчный способ).

Используют также совмещено-разнесенный способ выполнения принципиальных схем.

Изделие на схеме вычерчивают как прямоугольник, а его входные и выходные элементы – как УГО. Допустимо вычерчивать изделие упрощенными внешними очертаниями.

Допустимо расположение УГО на схеме в той последовательности, в которой они находятся, если это не нарушит удобочитаемость схемы.

Тогда входные и выходные элементы показывают в таком же виде.

Показывают изображения входных и выходных элементов внутри графического обозначения изделия так, чтобы они приблизительно соответствовали их настоящему размещению в изделии.

На схеме наносят позиционные обозначения входных и выходных элементов, которые присвоены им на принципиальной схеме изделия.

При изображении устройства (или устройств) в виде прямоугольника допускается в прямоугольнике взамен УГО входных и выходных элементов помещать таблицы с характеристиками входных и выходных цепей (рис. 8.1), а вне прямоугольника допускается помещать таблицы с указанием адресов внешних присоединений (рис. 8.2). При необходимости допускается вводить в таблицы дополнительные графы.

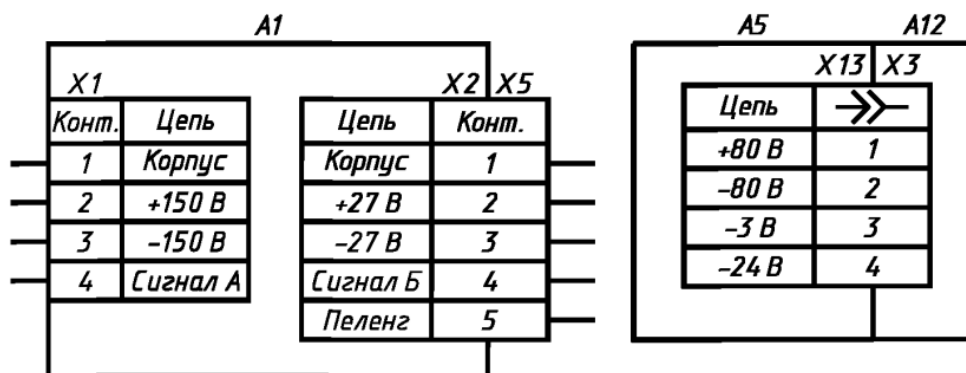


Рисунок 8.1 – Изображение устройства с указанием адресов внешних присоединений в таблице внутри прямоугольника

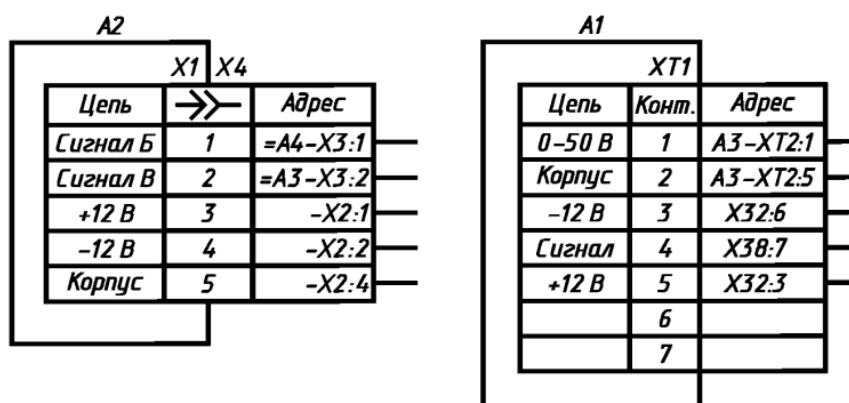


Рисунок 8.2 – Изображение устройства с указанием адресов внешних присоединений в таблице вне прямоугольника

Если в изделии есть несколько соединенных параллельно одинаковых элементов (устройств, функциональных групп), допустимо вместо выполнения всех ветвей параллельного соединения изобразить лишь одну ветвь, указав количество ветвей при помощи обозначения отвления. Их обозначения проставляют около изображенных в одной ветви УГО. В этом случае необходимо учитывать все элементы, устройства и функциональные группы, которые входят в это параллельное соединение, как показано на рисунке 8.3. При этом элементы записывают в перечень элементов в одну строку

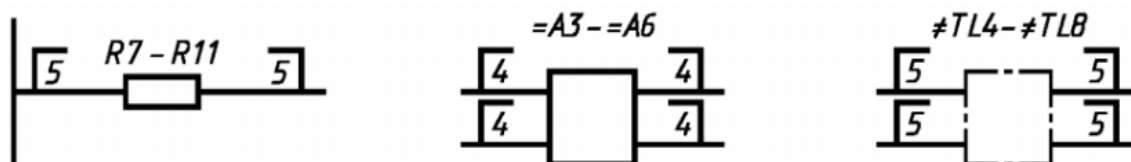


Рисунок 8.3 – Изображение и обозначение нескольких одинаковых элементов, устройств и функциональных групп, входящих в параллельное соединение

При наличии в изделии трех и более соединенных последовательно одинаковых элементов (устройств, функциональных групп) вместо выполнения всех последовательно соединенных элементов (устройств, функциональных групп) вычерчивают первый и последний элементы (устройства, функциональные группы), при этом связи между ними показывают штриховыми линиями.

В случае присвоения элементам (устройствам, функциональным группам) обозначений учитывают элементы (устройства, функциональные группы), которые не изображены на схеме так, как приведено на рисунке 8.4, указывая над штриховой линией общее количество одинаковых элементов. Элементы вносят при этом в перечень элементов в одну строку.

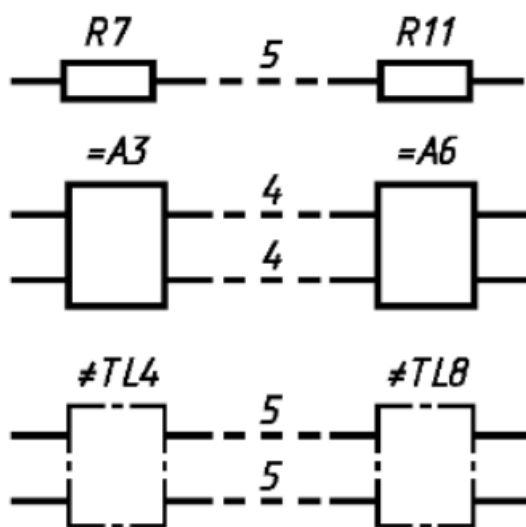


Рисунок 8.4 – Изображение и обозначение трех и более одинаковых элементов, устройств и функциональных групп, входящих в последовательное соединение

Схемы допустимо строить в пределах условного контура, который упрощенно показывает конструкцию изделия. При этом условные контуры вычерчивают линиями, толщина которых равна толщине линий взаимосвязи. Допустимо контур изделия начертить более тонкими линиями.

Если выполнять схемы на нескольких листах или в виде совокупности схем одного типа, то необходимо соблюдать следующие требования:

- для схем, служащих для того, чтобы пояснить принципы работы изделия (функциональная, принципиальная), показывать на каждом листе или на каждой схеме заданную функциональную группу, функциональную цепь (линию, тракт);

- для схем, которые предназначены для определения соединений (схема соединений), вычерчивать на каждом листе или на каждой схеме

часть изделия (установки), находящуюся в заданном месте пространства или определенной функциональной цепи.

При условии выполнения схемы на нескольких листах должны соблюдаться такие требования как:

- при присвоении элементам позиционных обозначений должна быть сквозная нумерация в пределах изделия (установки);
- перечень элементов должен быть общим;
- отдельные элементы можно повторно показывать на других листах схемы с сохранением позиционных обозначений, которые присвоены им на одном из листов схемы.

Схемы, создаваемые в электронном виде, выполняют однолистными и обеспечивают деление данного листа при печати на нужные форматы.

Расстояние (просвет) между двумя соседними линиями УГО должно быть не менее 1,0 мм, между соседними параллельными линиями взаимосвязи – не менее 3,0 мм, между отдельными УГО – не менее 2,0 мм.

На схеме наносят обозначения входных, выходных или выводных элементов, которые нанесены на изделие.

Если обозначения входных, выходных и выводных элементов в конструкции изделия не указывают, то допустимо условно присвоить им обозначения на схеме, повторяя их в соответствующей конструкторской документации. В этом случае на поле схемы наносят все необходимые пояснения.

На схеме рядом с УГО соединителей, к которым присоединены провода и кабели (многожильные провода, электрические шнуры), наносят наименования этих соединителей и (или) обозначения документов, на основании которых их применили.

Провода и кабели (многожильные провода, электрические шнуры) показывают на схеме отдельными линиями. Если необходимо, то на схеме показывают марки, сечения, расцветку проводов, а также марки кабелей (многожильных проводов, электрических шнуров), количество, сечение и занятость жил.

Если указывают марки, сечения и расцветку проводов в виде условных обозначений, то на поле схемы необходимо расшифровать эти обозначения.

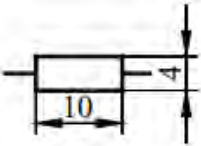
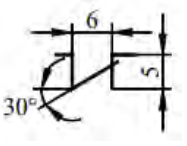
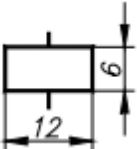
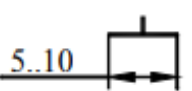
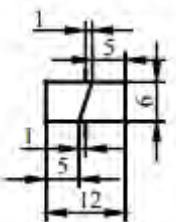
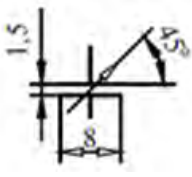
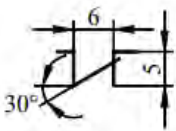
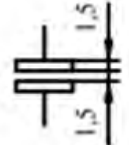
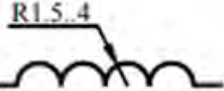

Стандартные условные графические обозначения элементов изображают в размерах, установленных в соответствующих стандартах (табл. 8.1). Если размеры стандартом не установлены, то условные графические обозначения должны иметь такие же размеры, как их изображения в стандарте на условные графические обозначения. Допускается все изображения пропорционально увеличивать (при вписывании в них поясняющих знаков) или уменьшать (при этом расстояние между двумя соседними линиями должно быть не менее 1,0 мм).

Условные графические обозначения элементов выполняют линиями той же толщины, что и линии связи. Толщина линий связи должна быть 0,2–1,0 мм. Размеры условных графических обозначений, а также толщины их линий должны быть одинаковыми на всех схемах данного изделия (установки). На схемах условные графические обозначения элементов изображают в положении, в котором они даны в соответствующих стандартах, или повернутых на угол, кратный 90°. Допускается обозначения поворачивать на угол, кратный 45°, или изображать их зеркально повернутыми.


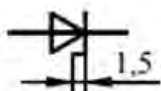

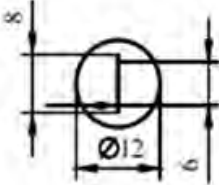
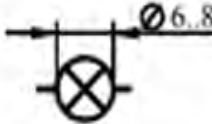
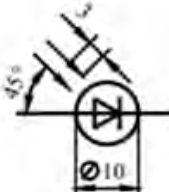
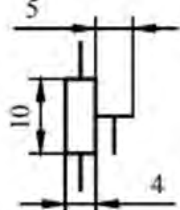
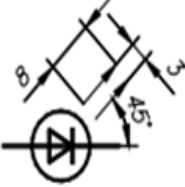
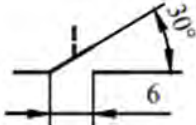

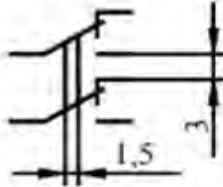
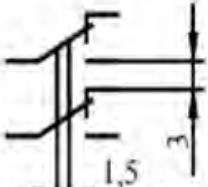
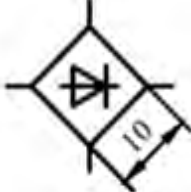
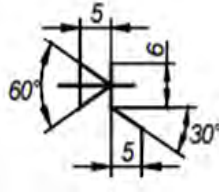
Условные графические обозначения, содержащие цифры или буквенные обозначения, допускается изображать повернутыми против часовой стрелки только на угол 90° или 45°.

На схемах допускается приводить различные технические данные, характер которых определяется видом и типом схемы. Эти сведения помещают около графических обозначений (по возможности справа или вверху) или на свободном поле схемы (по возможности над основной надписью). Около графических обозначений элементов и устройств помещают, в частности, номинальные значения их параметров, а на свободном поле – диаграммы, таблицы, текстовые указания.

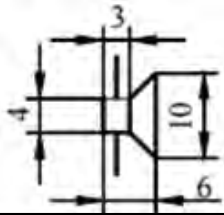
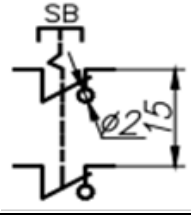
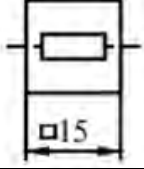
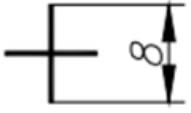
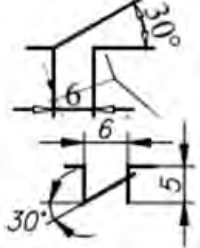
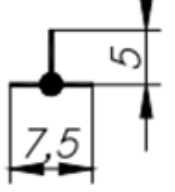
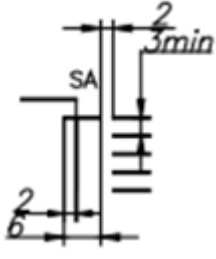
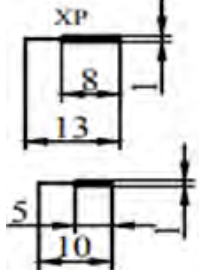

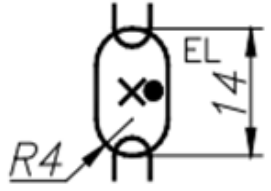
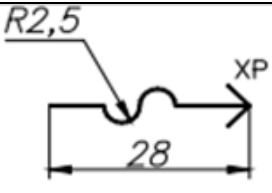
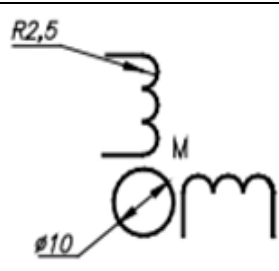
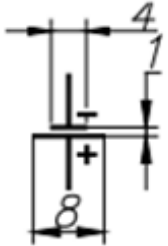
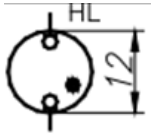
Таблица 8.1 – Размеры условных графических обозначения линий связи и элементов в принципиальных электрических схемах

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1	2	3	4
Резистор постоянный		Контакт коммутационного устройства	
Катушка электро-механического устройства		Корпус (машины, аппарата)	
Катушка электро-механического устройства с одной обмоткой		Конденсатор переменной емкости	
Контакт коммутационного устройства		Конденсатор электролитический	
Обмотка параллельного или независимого возбуждения		Тиристор	

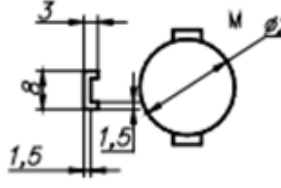
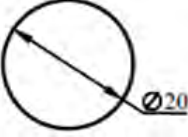
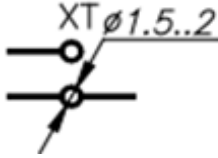
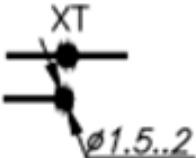
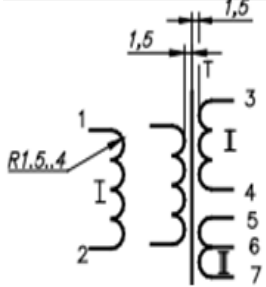

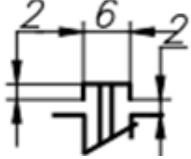

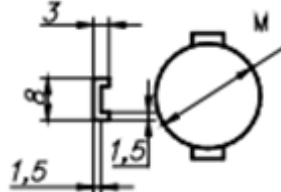
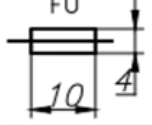
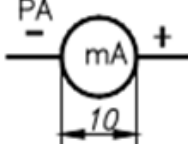
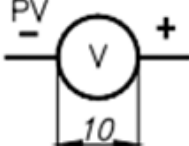
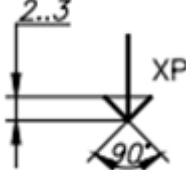


Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4
Биполярный транзистор		Стабилитрон	
Обмотка параллельного или независимого возбуждения		Полевой транзистор	
Лампочка накаливания осветительная и сигнальная		Фотодиод	
Регулировочный резистор		Прибор световой сигнализации	
Выключатель или переключатель		Микрофон	
Переключатель с одной группой переключающих контактов		Переключатель с одной группой переключающих контактов	
Диодный мост		Тиристор с управлением по катоду	

Продолжение таблицы 8.1.

1	2	3	4
Громкоговори- тель		Кнопочный переключатель с фиксацией положения	
Электродпечь		Пересечение проводников	
Переключатель с одной группой переключающих контактов		Соединение проводников	
Галетный переключатель		Контакт вилки	
Геркон		Люминесцентная лампа	
Щуп измери- тельного прибо- ра		Электродвига- тель переменного то- ка	
Гальванический элемент либо аккумулятор		Неоновая индикаторная лампа	

Окончание таблицы 8.1.

1	2	3	4
Коллекторный электродвигатель постоянного тока		Статор	
Контакт соединения разборного (зажим)		Контакт соединения неразборного (контрольная точка, монтажная стойка)	
Трансформатор: 1 – первичная, 2, 3 – вторичные обмотки		Контакт неразборного соединения	
Кнопочный переключатель		Подвижный контакт	
Коллекторный электродвигатель постоянного тока		Плавкий предохранитель	
Миллиамперметр		Вольтметр	
Штырь и штепсель		Гнездо	
Заземление			

8.2 Буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах

В соответствии с ГОСТ 2.710-81 существует ряд правил по буквенно-цифровому обозначению в электрических схемах подключения.

Условные буквенно-цифровые обозначения (далее – обозначения) предназначены:

- для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах, об устройствах и о функциональных группах (далее – части объекта) в документации на объект;

- для ссылок на соответствующие части объекта в текстовых документах;

- для нанесения непосредственно на объект, если это предусмотрено в его конструкции.

В зависимости от назначения и характера передаваемой информации устанавливаются следующие типы обозначений:

- высшего уровня – устройства (дополнительное обозначение);

- высшего уровня – функциональная группа (дополнительное обозначение);

- конструктивного расположения – конструктивное обозначение (дополнительное обозначение);

- элемента – позиционное обозначение (обязательное обозначение);

- электрического контакта (дополнительное обозначение);

- части объекта, с которой сопрягается данная часть объекта, или места расположения на документе изображения или сведений о данной части объекта (адресное обозначение).

В зависимости от полноты передаваемой информации условное буквенно-цифровое обозначение может иметь простую или сложную структуру, т. е. структуру в виде обозначений отдельных типов или в виде составного обозначения. При необходимости допускается применять обозначения и их квалифицирующие символы, типы которых не установлены настоящим стандартом. Содержание и способ записи таких обозначений должны быть пояснены в документации на объект (например, на поле схемы). Определения терминов, используемых в стандарте, приведены в таблице 8.2.

Применение уставных буквенно-цифровых обозначений в документах устанавливается правилами выполнения соответствующих документов (схем, чертежей, текстовых документов и т. д.).

Пример построения конструктивного обозначения приведен на рисунке 8.5.

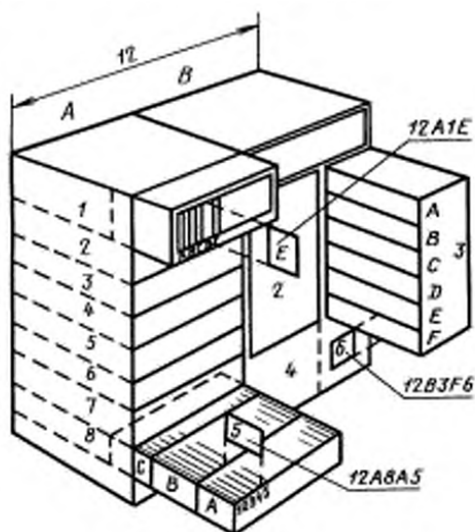


Рисунок 8.5 – Пример построения конструктивного обозначения

Таблица 8.2 – Буквенные коды для указания функционального назначения элементов

Буквенный код	Функциональное назначение
A	Вспомогательный
B	Направление движения (вперед, назад, вверх, вниз, по часовой стрелке, против часовой стрелки)
C	Считающий
D	Дифференцирующий
F	Защитный
G	Испытательный
H	Сигнальный
I	Интегрирующий
K	Толкающий
M	Главный
N	Измерительный
P	Пропорциональный
Q	Состояние (старт, стоп, ограничение)
R	Возврат, сброс
S	Запоминание, запись
T	Синхронизация, задержка
V	Скорость (ускорение, торможение)
W	Сложение
X	Умножение
Y	Аналоговый
Z	Цифровой

8.3 Правила построения обозначений

Для построения обозначений применяют прописные буквы латинской алфавита, арабские цифры, а также приведенные в таблице 8.3 знаки (квалифицирующие символы).

Таблица 8.3 – Квалифицирующие символы

Тип условного обозначения	Классифицирующий символ	Примечание
Обозначение высшего уровня – устройство	=	
Обозначение высшего уровня – функциональная группа	≠	Допускается ≠
Конструктивное обозначение	+	
Обозначение элемента (позиционное обозначение)	–	
Обозначение электрического контакта	:	
Адресное обозначение	()	Обозначение заключают в скобки

Знаки «0» и «1» используют и читают, соответственно, как цифры «ноль» и «единица», за исключением тех случаев, когда их используют в заведомо буквенных сочетаниях при образовании обозначений устройств и функциональных групп, если это не приведет к неправильному пониманию обозначений.

Структура обозначений. Условное буквенно-цифровое обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов и их количество в обозначении не устанавливается.

Соседние группы знаков отдельных обозначений, имеющие самостоятельное смысловое значение, разделяют:

- чередованием буквы и цифры (например, КС25, К2, 25КС, 2К);
- точкой, если группы состоят только из букв или только из цифр (например, КС.А. 2.25).

Допускается в обозначении разделять точкой самостоятельные смысловые группы, состоящие из букв и цифр (например, ОI.A1.I3I2; ОI.A.113.12).

Допускается цифровую часть, имеющую смысл порядкового номера, записывать с одинаковым количеством разрядов, заполняя старшие разряды нулями, например, АOI, А02, ..., А25, ..., А99.

Составное обозначение образуют последовательной записью обозначений различных типов. Обозначение, входящее в составное обозна-

чение, записывают с квалифицирующими символами в соответствии с таблицей 8.3.

Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде представлена на рисунке 8.6.

Обозначение высшего уровня		Конструктивное обозначение	Обозначение элемента			Обозначение контакта	Адресное обозначение
Устройство	Функциональная группа		Вид	Номер	Функция		
= NANA	≠ NANA	+ NANA -	A	N	A NANA	:	NANA
Дополнительная часть			Обязательная часть		Дополнительная часть		

Рисунок 8.6 – Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде

Исходя из рисунка, следует отметить следующие обозначения:

A – обозначение, состоящее из одной или нескольких букв;

N – обозначение, состоящее из одной или нескольких цифр;

NANA – любая комбинация цифр и (или) букв;

|NANA| – дополнительная часть, уточняющая функцию.

Например, = A12 ≠ T8 + 204 – K4H : 12 (3.16 + 15 : 2).

Обозначение элемента (позиционное обозначение). Обозначение элемента в общем случае состоит из трех частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию.

Вид и номер являются обязательной частью условного буквенно-цифрового обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам объекта. Указание функции элемента не служит для идентификации элемента и не является обязательным.

В первой части записывают одну или несколько букв (буквенный код) для указания вида элемента, во второй части записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента данного вида, в третьей части записывают одну или несколько букв (буквенный код) функции элемента. Например, С41 – конденсатор С4, используемый как интегрирующий.

Допускается буквенный код функции дополнить цифрами. При разнесенном способе представления допускается к номеру добавлять условный номер изображений части элемента или устройства, отделяя его точкой. Например, Л41. При составлении перечней элементов на объект допускается указывать только первую и вторую части обозначения (обязательную часть).

Буквенные коды видов элементов приведены в таблице 8.4. Части объекта (элементы) разбиты по видам на группы, которым присвоены обозначения одной буквой [15].

Таблица 8.4 – Буквенные коды видов элементов

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов
1	2	3
А	Устройства	Усилители, приборы, телеуправления, лазеры, мазеры
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговорители, микрофоны, термоэлектрические чувствительные элементы, детекторы ионизирующих излучений, звукозаписывающие аппараты. Сельсины
С	Конденсаторы	
Д	Схемы интегральные, микросборки	Схемы интегральные аналоговые и цифровые. Логические элементы, устройства памяти. Устройства задержки
Е	Элементы разные	Осветительные устройства, нагревательные элементы
Ф	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретные элементы защиты по току и напряжению. Плавкие предохранители, разрядники
Г	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батареи, аккумуляторы, электрохимические и электротермические источники
Н	Устройства индикационные и сигнальные	Приборы звуковой и световой сигнализации, индикаторы

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3
К	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовые и напряжения, реле электро-тепловые, реле времени, контакторы, магнитные пускатели
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссели люминесцентного освещения
M	Двигатели	Двигатели постоянного и переменного тока
P	Приборы, измерительное оборудование	Показывающие, регистрирующие и измерительные приборы, счетчики, часы
R	Резисторы	Переменные резисторы, потенциометры. Варисторы. Терморезисторы
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатели, переключатели, выключатели. Срабатывающие от различных воздействий
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформаторы тока и напряжения, стабилизаторы
U	Преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи	Модуляторы, демодуляторы, дискриминаторы. Инверторы, преобразователи частоты. Выпрямители
V	Приборы электровакуумные, полупроводниковые	Электронные лампы, диоды. Транзисторы. Тиристоры, стабилитроны
W	Линии и элементы сверхвысокой частоты, антенны	Волноводы. Диполи, антенны
X	Соединения контактные	Штыри, гнезда, разборные соединения, токосъемники

Окончание таблицы 8.4

1	2	3
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнитные муфты, тормоза, патроны
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Линии моделирования, кварцевые фильтры

Для уточнения вида элементов допускается применять двухбуквенные и многобуквенные коды. Элемент данного вида может быть обозначен одной буквой – общим кодом вида элемента или двумя буквами – кодом данного элемента. При применении двухбуквенных и многобуквенных кодов первая буква должна соответствовать группе видов, к которой принадлежит элемент. Примеры двухбуквенных кодов приведены в таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Двухбуквенные коды видов элементов

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
1	2	3	4
A	Устройства (общее обозначение)		
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многоуровневые преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель Магнитострикционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин-приемник Телефон (капеюль) Сельсин-датчик Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	BA BB BD BE BF BC BK BL BM BP BQ BR BS BV
C	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная, цифровая, логический элемент Устройства хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT

Продолжение таблицы 8.5

1	2	3	4
Е	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон	EK EL ET
Ф	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты: - по току мгновенного действ. - по току инерционного действ. Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FA FP FU FV
Г	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батареи	GB
Н	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации	HA HG HL
К	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	KA KH KK KM KT KV
Л	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссели люминесцентного освещения	LL
М	Двигатели	Двигатели постоянного и переменного тока	
Р	Приборы, измерительное оборудование <i>Примечание:</i> сочетание РЕ применять не допускается	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	PA PC PF PI PK PR PS PT PV PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (электрооборудование, питание оборудования и т. п.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS

Продолжение таблицы 8.5

1	2	3	4
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	RK RP RS RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных <i>Примечание:</i> обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения от температуры	SA SB SF SL SP SQ SR SK
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Электромагнитный стабилизатор Трансформатор напряжения	TA TS TV
U	Устройства связи, преобразователи электрических величин в электрические	Модулятор Демодулятор Дискриминаторы Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UB UR UI UZ
V	Приборы электровакуумные, полупроводниковые	Диод Прибор электровакуумный Транзистор Тиристор	VD VL VT VS
W	Линии и элементы сверхвысокой частоты Антенны	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор. Неоднородность, фазовращатель Аттенюатор Антенна	WE WK WS WT WU WA
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный	XA XP XS XT XW

Окончание таблицы 8.5

1	2	3	4
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плита	YA YB YC YN
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

Пример 8.1 Расчет и выбор блоков питания и устройств защиты

Задание. Рассчитать и выбрать блоки питания и устройств защиты для системы управления, в состав которой входят: 2 датчика уровня, 2 датчика давления, 1 модуль аналоговых входов, 1 процессорный модуль, 1 модуль дискретных выходов, 2 магнитных реле для управления запорными клапанами, 1 магнитный пускатель для управления двигателем насоса.

Для гальванической развязки измерительной и управляющих схем выберем два блока питания.

Для выбора блока питания для измерительной схемы определим токи, потребляемые техническими устройствами автоматизации:

датчик уровня KN 2700 потребляемая мощность 2 Вт (2 шт);

датчик давления ПД 100 потребляемая мощность 0,8 Вт (2 шт);

модуль процессора «Symbol-100» S-100-CPU потребляемый ток 140 мА;

модуль дискретных входов S-100-DI16 потребляемый ток 250 мА;

модуль дискретных выходов S-100-DO16 потребляемый ток 60 мА.

Рассчитаем суммарный ток, потребляемые техническими устройствами автоматизации (напряжение питания постоянного тока 24 В):

$$I_{\text{БП}} = 1,5 \cdot (2 \cdot 2/24 + 2 \cdot 0,8/24 + 0,14 + 0,25 + 0,06) = 1,03 \text{ А.}$$

Для подключения питания измерительной схемы выберем блок питания DR-30 фирмы «Mean Well», технические характеристики которого представлены в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Технические характеристики блока питания DR-30

Характеристика	Значение
Выходное напряжение, В	от 21,6 до 26,4
Выходной ток, А	1,5
Напряжение питания, В	230

Окончание таблицы 8.6

Потребляемый ток, А	0,48
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+60
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

Схема подключения блока питания DR-30 приведена на рисунке 8.7.
Код заказа: MeanWell DR-30-24.

Terminal Pin No. Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	AC/N	5,6	-V
2	AC/L	7	LED
3,4	+V	8	+VADJ.

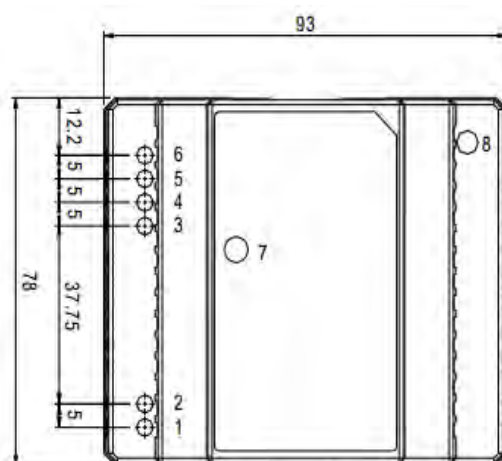


Рисунок 8.7 – Схема подключения блока питания DR-30

Для выбора блока питания для управляющей схемы определим токи, потребляемые техническими устройствами автоматизации:

1) магнитное реле РЭС47 для управления запорным клапаном потребляемый ток 42 мА (2 шт.);

2) магнитный пускатель ПМЛ-1110Д для управления двигателем насоса пусковая мощность 78 Вт.

Рассчитаем суммарный ток, потребляемые техническими устройствами автоматизации (напряжение питания постоянного тока 24 В):

$$I_{\text{БП2}} = 1,5 \cdot (2 \cdot 42 + 78/24) = 5,0 \text{ А.} \quad (8.1)$$

Для подключения питания управляющей схемы выберем блок питания БП-24 фирмы «Европрибор», технические характеристики которого представлены в таблице 8.7.

Таблица 8.7 – Технические характеристики блока питания БП-24

Характеристика	Значение
Выходное напряжение, В	от 23,9 до 24,1
Выходной ток, А	6
Напряжение питания, В	От 187 до 253
Потребляемый ток, А	1,5
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+5
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

Схема подключения блока питания БП-24 приведена на рисунке 8.8.
Код заказа: БП-24/6/Р.

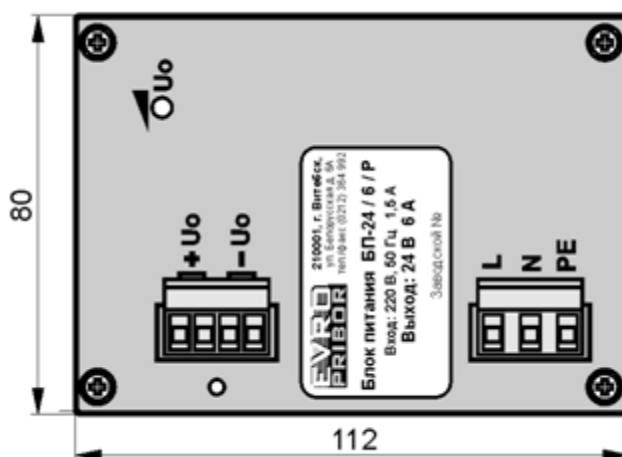


Рисунок 8.8 – Схема подключения блока питания БП-24

Рассчитаем ток срабатывания автоматического выключателя (переменное напряжение 220 В):

$$I_{\text{ав}} = 1,5 \cdot (I_{\text{БП1}} + I_{\text{БП2}}) = 1,5 (0,48 + 1,5) = 2,97 \text{ А.} \quad (8.2)$$

Для защиты электрических цепей от короткого замыкания выберем автоматический выключатель ВА 47-63 фирмы «ЕКФ», имущий ток срабатывания 3 А, диапазон рабочих температур от -40 до +50 °С, степень защиты IP 20.

Код заказа: ВА 47-63 3Р 1 (D) 4,5кА ЕКФ.

9. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ

Для оценки поведения автоматической системы в эксплуатационных условиях используется понятие надежности системы. При эксплуатации автоматическая система может подвергаться воздействию: механических нагрузок (вибраций, ударов, постоянного ускорения); электрических нагрузок (напряжения, электрического тока, мощности); окружающих условий (температура, влажность, давление).

Влияние указанных факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от номинальных (расчетных) значений. Эти отклонения могут быть настолько значительными, что система становится непригодной к использованию, так как возникновение больших отклонений параметров от расчетных значений при эксплуатации системы приводит к аварии или к появлению брака в выпускаемой продукции.

Когда система перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, систему считают отказавшей. Следовательно, надежность является одной из характеристик качества системы, поэтому она, как и другие характеристики системы (точность, быстродействие), должна оцениваться количественно на основе анализа технических параметров системы в эксплуатационных условиях.

Так как на отдельные технические параметры системы оказывают влияние различные факторы (схемные, конструктивные, производственные и эксплуатационные) и учесть их аналитически при детерминированном подходе к анализу системы невозможно, то количественная оценка надежности системы возможна только на основе теории вероятностей или ее специальных разделов (теории случайных процессов и математической статистики) [7].

Надежность – свойство системы сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Надежность является характеристикой эффективности системы. Если для оценки качества автоматической системы достаточно характеризовать ее надежностью выполнения системой функций в различных состояниях, то надежность совпадает с эффективностью системы.

Надежность оценивают по трем составляющим:

- безотказность;
- восстанавливаемость (ремонтпригодность);
- готовность;

Безотказность – *свойство системы сохранять работоспособность в течение требуемого интервала времени непрерывно без вынужденных перерывов.*

Безотказность системы является одной из главных и определяющих составных частей надежности автоматической системы.

Для фиксированного интервала времени безотказной работы и заданных условий эксплуатации автоматическая система может находиться в одном из двух состояний: **работоспособном** (состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность системы выполнять заданные функции, находятся в пределах, установленных нормативно-технической документацией) и **неработоспособном** (состояние системы, при котором значение хотя бы одного параметра не находится в указанных пределах).

Эти состояния системы представляют противоположные события, поэтому для них справедливо равенство, которое будем в дальнейшем называть основным статическим уравнением безотказности системы:

$$P + Q = 1, \quad (9.1)$$

где P – безотказность (надежность) системы; Q – вероятность возникновения отказа системы.

Восстанавливаемость – свойство системы, заключающееся в ее приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению причин возникновения отказов, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Восстановлением называется событие, заключающееся в переходе системы из неработоспособного состояния в работоспособное, вследствие не только корректировки, настройки, ремонта, но и вследствие замены отказавшего оборудования или элемента на работоспособный. Соответственно, к *невосстанавливаемым* относят системы, восстановление которых непосредственно после отказа считается нецелесообразным или невозможным, а к *восстанавливаемым* – системы в которых производится восстановление непосредственно после отказа.

Восстанавливаемость автоматической системы является характеристикой ее качества, поэтому восстанавливаемость можно определить как свойство системы, позволяющее обслуживающему персоналу определенной квалификации восстановить систему при заданных окружающих условиях.

Под количественным значением восстанавливаемости системы понимается вероятность того, что параметры ее будут восстановлены до требуемых значений за данный интервал времени обслуживающим персоналом определенной квалификации при заданных окружающих условиях.

Низкая восстанавливаемость автоматических систем даже при сравнительно приемлемых характеристиках безотказности приводит к значительным расходам на эксплуатацию систем.

Восстанавливаемость систем в значительной степени влияет на готовность системы к выполнению заданных ей функций, что имеет важное значение при подготовке системы к началу рабочего цикла или смены, в системах автоматической блокировки и др. [7].

Восстановление системы может быть двух типов:

– профилактическое,

– корректирующее.

Профилактическое, или плановое восстановление, предупреждает отказы или неправильное функционирование системы настройкой, регулировкой, а также чисткой, смазкой системы и т. п. Профилактическое восстановление с целью предупреждения отказов системы при работе включает также замену узлов или деталей системы, которые имеют критические значения параметров.

Корректирующее, или неплановое восстановление, требуется при отказах системы. При этом регулируют параметры системы или заменяют детали вследствие их отказа, или в результате недопустимого изменения параметров системы в рабочий период.

Восстанавливаемость и не восстанавливаемость представляют противоположные события, поэтому, как и в случае безотказности системы, основное уравнение восстанавливаемости имеет вид

$$P_v + Q_v = 1, \quad (9.2)$$

где P_v – восстанавливаемость; Q_v – не восстанавливаемость системы.

Восстанавливаемость системы определяется двумя группами основных факторов.

Первую группу составляют факторы, относящиеся к схеме и конструкции системы (сложность системы, взаимозаменяемость отдельных узлов и блоков, конструктивное оформление системы для удобства обслуживания, доступность к отдельным элементам и некоторые другие). Анализ каждого из этих факторов представляет сложную задачу.

Вторую группу составляют эксплуатационные факторы (опыт, подготовка и мастерство обслуживающего персонала, а также степень совершенства руководства обслуживающим персоналом, методика проверочных испытаний системы, совершенство снабжения запасными частями и др).

Восстанавливаемость можно существенно увеличить, применяя современные методы обнаружения и устранения неисправностей в системе. Эти методы развиваются в трех направлениях:

1) создание встроенных в систему диагностирующих устройств или применение специальных автоматических тестеров;

2) разработка методов и оборудования для граничных испытаний позволяющих профилактически заменять элементы, параметры которых в значительной степени изменились вследствие износа или старения;

3) перераспределение функций, выполняемых элементами при появлении отказов, и самонастройка параметров системы, при этом структура системы выбирается таким образом, чтобы элементы, принявшие на себя функции отказавших элементов, в условиях повышенных на них нагрузок были бы в состоянии обеспечить эффективную работоспособность системы до окончания выполнения стоящих перед системой задач. Отказавшие элементы можно восстановить в период проведения профилактических мероприятий [7].

Готовность – свойство системы выполнять возложенные на нее функции в любой произвольно выбранный момент времени в установленном процессе эксплуатации. Готовность определяется как безотказностью, так и восстанавливаемостью системы.

Готовность системы определяется ее безотказностью и восстанавливаемостью, которые в свою очередь, как было показано выше, являются вероятностными характеристиками системы. Таким образом, готовность системы также является вероятностной характеристикой.

Под готовностью будем понимать вероятность того, что система в рассматриваемый момент времени готова для выполнения предназначенных ей функций, т. е. система должна быть готова к выполнению предназначенных ей функций к началу рабочего интервала времени. Для ряда автоматических систем связи, защиты, блокировки обычно требуется постоянная готовность.

В статистическом смысле общим показателем готовности может служить доля систем, готовых для использования в течение требуемого рабочего интервала времени.

В общем виде готовность системы определяется через вероятность отказа Q и невозстанавливаемость Q_v по следующей формуле:

$$P_g = 1 - Q_v \cdot Q. \quad (9.3)$$

Уравнение (9.3) показывает, что готовность системы при фиксированной одной характеристике безотказности или восстанавливаемости может быть повышена за счет увеличения другой.

9.1 Показатели надежности систем

Показателями надежности называются количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность системы. Выбор тех или иных показателей продиктован видом исследуемой системы. В теории надежности различают восстанавливаемые и невозстанавливаемые системы. К *невосстанавливаемым* относят системы, восстановление которых непосредственно после отказа считается

нецелесообразным или невозможным, а к *восстанавливаемым* – в которых проводится восстановление непосредственно после отказа.

Для невосстанавливаемых систем, как правило, ограничиваются показателями безотказности. Эти же показатели описывают системы, в принципе подлежащие восстановлению после отказов, но поведение которых целесообразно рассматривать до момента первого отказа. К их числу, например, можно отнести системы, чьи отказы чрезвычайно редки и вызывают особо тяжелые последствия.

К показателям надежности невосстанавливаемых систем относятся:

1. *Интегральный закон распределения времени безотказной работы;*
2. *Интегральный закон распределения времени до отказа;*
3. *Дифференциальный закон распределения времени исправной работы устройства до первого отказа;*
4. *Среднее время безотказной работы (средняя наработка до отказа);*
5. *Интенсивность отказов.*

Прежде чем перейти к показателям надежности, необходимо ввести понятие наработки до отказа.

Наработка до отказа (T) – случайная величина, представляющая собой длительность работы невосстанавливаемой системы до наступления отказа. Для большей части систем наработка до отказа измеряется единицами времени, но она может измеряться и числом включений, срабатываний, циклов. Очевидно, что для систем, работающих без отключений (кроме отказов), наработка до отказа совпадает с временем безотказной работы.

Основным показателем для количественной оценки безотказности элемента, аппаратуры, приборов и АСУ является *вероятность безотказной работы* $P(t)$ в заданном интервале времени наработки t . Чем меньше наработка, тем больше $P(t)$. Показатель $P(t)$ полностью определяет безотказность невосстанавливаемых элементов, но применим также и к восстанавливаемым элементам до первого отказа. Вероятность безотказной работы статистически определяется отношением числа элементов n_i , безотказно проработавших до момента времени t , к числу элементов N работоспособных в начальный момент времени $t = 0$

$$P_i^* = n_i / N. \quad (9.4)$$

При значительном увеличении числа элементов N статистическая вероятность P_i^* сходится к вероятности

$$P(t) = P\{T > t\} \quad (9.5)$$

где T – наработка до отказа.

Так как исправная работа и отказ – события противоположные, то они связаны очевидным соотношением:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (9.6)$$

где $Q(t)$ – вероятность отказа, или *интегральный закон распределения случайной величины – времени работы до отказа*.

Статистическое значение вероятности отказа равно отношению числа отказавших элементов к начальному числу испытываемых элементов:

$$Q_i^* = 1 - n_i/N = (N - n_i)/N \quad (9.7)$$

Производная от вероятности отказа $f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt$ есть *дифференциальный закон, или плотность распределения случайной величины – времени исправной работы устройства до первого отказа* и характеризует скорость снижения вероятности безотказной работы во времени.

Среднее время безотказной работы T_{cp} представляет собой математическое ожидание времени работы устройства до отказа

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt \quad (9.8)$$

Статистическая формула для расчета T_{cp} :

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (9.9)$$

где T_i – время безотказной работы i -го устройства; N – общее число элементов.

Интенсивностью отказов $\lambda(t)$ называют отношение плотности распределения времени исправной работы к вероятности безотказной работы невозстанавливаемого устройства, которая взята для одного момента времени t .

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = -dP/d(t/P(t)). \quad (9.10)$$

Статистическая формула:

$$\lambda(t)^* = 2(N_1 - N_2)/t(N_1 + N_2) \quad (9.11)$$

где N_1 – начальное количество исправных элементов; N_2 – количество исправных устройств через время t [16].

Интенсивность отказов является наиболее удобной характеристикой безотказности систем и элементов.

На кривой, приведенной на рисунок 9.1 можно выделить три характерные области:

- 1) начальных отказов **П** (*область приработки*);
- 2) случайных отказов **С** (*область зрелости*);
- 3) отказов вследствие старения **И** (*область старости*).

В области **П** интенсивность отказов сначала возрастает, достигает максимального значения и затем уменьшается.

Верхняя граница области определяется переходом интенсивности отказов в зону постоянных значений. Начальные отказы могут быть обусловлены дефектами материалов, а также главным образом производственными дефектами и некоторыми другими факторами. Причины начальных отказов можно устранить опытной эксплуатацией системы, тренировкой в специальных условиях и режимах работы в течение периода времени, называемого периодом приработки. Продолжительность периода приработки, как показывает опыт, зависит от числа дефектов в системе.



Рисунок 9.1 – Зависимость интенсивности отказов от времени

В области случайных отказов интенсивность отказов остается величиной постоянной и определяется сложностью системы, качеством применяемых элементов и режимам их работы, условиями эксплуатации и некоторыми другими факторами. Интервал времени, в течение которого интенсивность отказов постоянна, представляет основной рабочий период систем. В некоторых случаях он совпадает с минимальным значением производственного ресурса системы. Начало роста интенсивности отказов определяет верхнюю границу области случайных отказов и нижнюю границу отказов из-за изношенности. С некоторым допуском возникновение таких отказов может служить критерием долговечности. Следует иметь в виду, что для некоторых систем долговечность может быть меньше, чем среднее время безотказной работы системы, рассчитанное как величина, обратная интенсивности отказов.

Это обстоятельство следует учитывать при назначении гарантийного срока работы системы.

В области *И* интенсивность отказов сильно возрастает вследствие износа отдельных элементов. В восстанавливаемых системах в области *И* интенсивность отказов имеет колебательный характер, причем амплитуда и частота колебаний зависят от долговечности отдельных элементов и организации профилактических мероприятий при эксплуатации системы.

В расчетах надежности необходимо учитывать законы распределения случайной величины – времени работы системы до возникновения отказа. Для дискретных случайных величин применяются *биномиальный закон* распределения и *закон Пуассона*. Для непрерывных случайных величин применяются *экспоненциальный закон*, *гамма-распределение*, *закон Вейбулла*, *нормальный закон*.

Например, *закон Пуассона* определяет распределение числа m случайного события за время t . Используется для определения вероятности того, что в сложном устройстве за время t произойдет n отказов.

Экспоненциальный закон применяется для анализа сложных изделий, прошедших период приработки, а также для систем, работающих в тяжелых условиях под воздействием механических и климатических нагрузок. Типовые элементы радиоэлектроники аппаратуры подчиняется экспоненциальному закону распределения времени отказов в области внезапных отказов с λ -кривой (рис. 9.2). Вероятностные характеристики отказов определяются формулами:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad (9.12)$$

Для экспоненциального закона $T_{cp} = 0 = 1/\lambda$ и удовлетворяются начальные условия $P(0) = 1; Q(0) = 0$, т. е. отчет времени t начинается с момента выяснения исправности изделия.

Графики изменения показателей надежности при экспоненциальном распределении представлены на рис. 9.2.

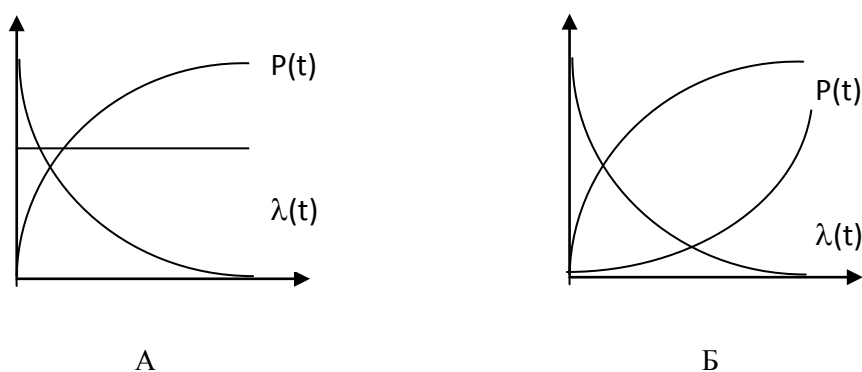


Рисунок 9.2 – Показатели надежности при экспоненциальном (А) и нормальном (Б) законе распределения времени безотказной работы.

Основным характерным свойством экспоненциального распределения является то, что вероятность безотказной работы системы на любом интервале времени не зависит от длины этого интервала и не зависит от времени, предшествующей работы системы, т. е. от ее «возраста».

Так как для экспоненциального распределения характерно постоянство интенсивности отказов во времени, то область применения этого закона – системы и элементы, где можно не учитывать ни период приработки, и участок старения и износа (например, многие средства вычислительной техники и регулирования).

9.2 Принципы описания надежности АСУТП

Автоматизированную систему управления, как и любую сложную систему, целесообразно рассматривать как совокупность элементов с определенной взаимосвязью между собой. Выбор элементов в зависимости от способа декомпозиции АСУ ТП может быть различен. При декомпозиции по составу в качестве элементов могут быть приняты комплекс технических средств, информационное обеспечение (включающее в себя нормативно-справочную информацию, системы классификации и кодирования информации и др.) и организационное обеспечение (документы, регламентирующие действия персонала). Свойства информационного и организационного обеспечения влияют на надежность АСУ ТП косвенно, через функционирование технических средств, программного обеспечения и действия персонала, поэтому отдельно не учитываются. При функциональной декомпозиции АСУ ТП как многофункциональной системы в качестве элементов системы рассматриваются ее функции, в этом случае говорят об функциональной эффективности АСУ ТП. В общем случае АСУ ТП принято рассматривать как совокупность ТСА (технические средства автоматизации), ПО (программное обеспечение) и ОП (оперативный персонал).

Надежность комплекса технических средств оказывает наиболее существенное влияние на надежность АСУ ТП, поэтому приближенно надежность АСУ ТП зачастую оценивают с учетом только комплекса технических средств.

Критерии отказов технических средств (ТСА) устанавливаются в соответствии с требованиями, указанными в стандартах, технических условиях или другой технической документации на эти ТСА. Поскольку большинство ТСА имеют общепромышленное назначение, то требования задаются безотносительно к тем системам, в которых эти ТСА функционируют. Критерии отказов ТСА при этом не зависят от

характеристик управляемого объекта и требований к качеству управления.

Рассмотрим классификацию отказов комплекса технических средств системы.

Отказ – случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы. Кроме того, отказ автоматической системы определяется как выход параметра за границы установленного допуска.

В эксплуатационных условиях изменение выходного параметра системы представляет случайную функцию. Если выход параметра k за границу допуска является опасным, то графически переход из исправного состояния прибора в неисправное, можно изобразить как пересечение случайной функцией одной из границ допуска **a** и или **b** (рис. 9.3).

При этом выход параметра за границу допуска может происходить либо скачком (график 1), либо в результате постепенного непрерывного изменения параметра прибора (график 2).

Поэтому, если исходить из характера изменения параметра, целесообразно разделить отказы приборов и элементов на *внезапные* и *постепенные*. Такое деление удобно при расчете безотказности системы (приборов), поскольку внезапный отказ ее вызывается как отказом элементов принципиальной схемы, так и отказом конструктивных и вспомогательных элементов. Для большинства систем и приборов постепенный отказ определяется лишь изменением параметров принципиальной и кинематической схем.

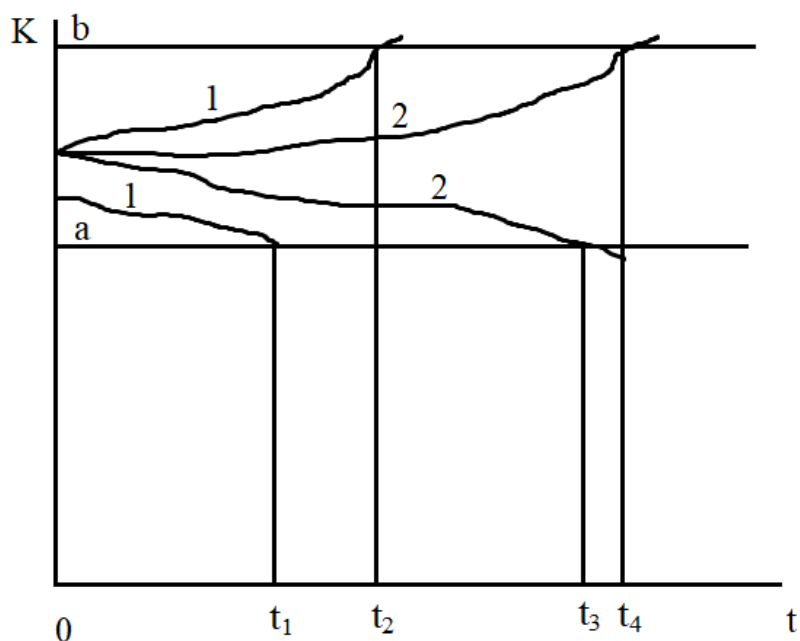


Рисунок 9.3 – Переход прибора из исправного состояния в неисправное

При появлении внезапных отказов не резервированная система не может выполнять предназначенные функции, в то время как при постепенных отказах небольшие отклонения параметра за границу допусков

обычно приводят не к отказу системы, а лишь к изменению ее эффективности (в зависимости от величины отклонения параметра прибора за границу допуска).

При оценке безотказности системы, в случае постепенных отказов, влияние величины отклонения параметра системы за границу допуска можно характеризовать эффективностью параметра системы.

При таком делении отказов элементов на внезапные и постепенные можно считать, что:

- отсутствие внезапного отказа свидетельствует о прочности элемента;
- постепенное изменение параметра свидетельствует о его точности.

Следовательно, отсутствие обоих отказов может быть интерпретировано как условная прочность.

Для фиксированного интервала времени работы системы безотказность представляет вероятность совместного осуществления двух событий, у которых отсутствуют внезапные и постепенные отказы.

Если внезапные и постепенные отказы независимы, то в соответствии с правилом умножения вероятностей безотказность определяется формулой:

$$P = P_{\text{вн}} \cdot P_{\text{пост}} \quad (9.13)$$

где $P_{\text{вн}}$ – безотказность системы при возникновении внезапных отказов; $P_{\text{пост}}$ – безотказность системы, при возникновении постепенных отказах.

Характер внезапных отказов определяется в свою очередь типом элемента или прибора, его схемой и конструкцией. Для простейших элементов (детали и несложные узлы) внезапные отказы делятся на два вида:

- обрыв;
- короткое замыкание.

Так как все возможные состояния элементов должны составлять полную группу событий, запишем основное уравнение безотказности для этой группы элементов

$$P + q_0 + q_3 = 1 \quad (9.14)$$

где q_0 и q_3 – вероятности отказа элемента вследствие обрыва и короткого замыкания соответственно.

Приборы, содержащие источники энергии, а также элементы, коммутирующие энергию, характеризуются такими видами внезапных отказов, как обрыв и ложный сигнал на выходе устройства. Т. е., для

приборов этой группы вид отказа определяется наличием или отсутствием сигнала на входе прибора.

Кроме внезапных и постепенных отказов, весьма полезно выделить при исследовании надежности автоматических систем *прерывистые* отказы, часто называемые сбоями (самовосстанавливающимися отказами). Прерывистые отказы в основном определяются помехами, воздействующими на систему, а для контактных элементов также и окружающими условиями, например вибрациями для контактов электромеханических реле. Характерную особенность прерывистых отказов составляют определенные трудности обнаружения и их устранения. Эффективным средством предупреждения последствий прерывистых отказов может служить применение коды в дискретных системах.

Показатели надежности ТСА устанавливаются при следующих условиях: температура окружающего воздуха $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$; относительная влажность 30–80 %; давление 630–680 мм. рт. столба; отклонение напряжения питания сети +10–15 %. Время на котором задается вероятность безотказной работы, обычно принимается равным 2000 ч. Задание показателей безотказности и долговечности для ТСА, входящих в состав ГСП, является обязательным.

Все рассмотренные выше виды отказов относятся к отказам комплекса технических средств АСУ ТП. Для описания надежности АСУ ТП в целом необходимо учитывать взаимосвязь системы и технологического объекта управления. *Надежность АСУ ТП, прежде всего, связана со способностью системы выполнять требуемые функции.* Тем самым становится естественным использование декомпозиции АСУ ТП как многофункциональной системы по выполняемым функциям. При таком подходе следует ввести понятие отказа функции. В общем случае **отказом функции** является событие, заключающееся в нарушении хотя бы одного из основных установленных требований к качеству ее выполнения, возникающее при заданных условиях эксплуатации АСУ ТП и функционирующем при заданных режимах технологическом объекте управления.

Установление критериев отказов функций проводится с учетом классификации функций в зависимости от требования к качеству их выполнения. Функции АСУ ТП условно подразделяются на простые и составные; непрерывные и дискретные. Рассмотрим требования к выполнению функций АСУ ТП в соответствии с приведенной классификацией.

- требования своевременного и безошибочного выполнения функций, отсутствия задержек при их реализации задаются для дискретных функций;

- требования отсутствия вынужденных перерывов в выполнении функции и поддержания значений показателей качества их выполнения в заданных пределах задаются для непрерывных функций;

- отказ составной функции формулируется как нарушение требований к выполнению некоторого сочетания простых функций, при этом если последствия отказов каждой из простых функций одинаковы, может быть задано требование по ограничению числа одновременно не выполняемых простых функций.

Отказы функций можно классифицировать по следующим признакам:

- по влиянию на работу объекта управления (вызвавшие аварию с повреждением оборудования, останов технологического процесса, ухудшение качества протекания технологического процесса);

- по причинам возникновения (из-за отказов технических средств, ошибок программного обеспечения, неправильных действий персонала);

- по степени нарушения работоспособности (например, полные и частичные);

- по наличию внешних проявлений (например, явные и неявные);

- по виду нарушения для дискретных функций (несрабатывание, заключающееся в отсутствии сигналов или команд на управление исполнительными механизмами при наличии условий, требующих их функционирования, и ложное срабатывание, заключающееся в выработке сигналов или команд при отсутствии условий, требующих их функционирования).

Показатели надежности функции АСУ ТП выбираются в соответствии с классификацией функции по временному режиму выполнения с учетом классификации и критериев отказов. Основным показателем безотказности различных непрерывных функции является средняя наработка на отказ. Вместо нее допускается использовать параметр потока отказов, если поток отказов функции является стационарным. При рассмотрении поведения функции до первого отказа показателем безотказности является средняя наработка до отказа.

В тех случаях, когда в работе АСУ ТП можно выделить характерные временные интервалы t_1 (например, периодичность капитальных ремонтов технологического оборудования, периодичность остановов из-за изменений производственной программы), в качестве показателя безотказности может быть принята вероятность безотказного выполнения функции $P(t_1)$.

Основным показателем безотказности и ремонтпригодности дискретных функций по отказам типа «несрабатывание» является вероятность R успешного выполнения заданной процедуры при возникновении запроса.

9.3 Методы повышения надежности автоматических систем

На стадии проектирования надежность нерезервированной системы обеспечивается следующими основными методами:

- 1) выбором простых и стабильных схем, учитывающих также возможности повышения надежности системы при эксплуатации;
- 2) применением качественных и перспективных элементов и выбором режимов работы элементов, соответствующих пониженным электрическим нагрузкам;
- 3) разработкой конструкции системы и приборов, обеспечивающей минимальные нагрузки на систему и элементы, а также удобство обслуживания системы.

Если в результате проектирования нерезервированной системы не удастся обеспечить требуемую безотказность, можно применять следующие методы повышения надежности системы при эксплуатации:

- 1) *обратные связи;*
- 2) *резервирование.*

Применение отрицательных обратных связей позволяет стабилизировать параметры отдельных узлов, блоков и приборов системы, т. е. уменьшать вероятность отказа системы вследствие постепенных отказов. В ряде случаев полезно применять положительные обратные связи.

Повышение надежности изделий и систем может быть достигнуто с помощью резервирования [7].

Резервирование бывает информационное, временное, функциональное, аппаратурное и структурное. Рассмотрим два последних вида резервирования. *Аппаратурное резервирование* обеспечивается применением нескольких одинаковых устройств для достижения заданной цели, например, прием и запись уникальной информации одновременно на 2–3 устройства. *Структурное (схемное) резервирование* состоит в применении специальных схем соединений основного и резервного элементов.

Используют **поэлементное резервирование** и **резервирование всей цепи основных элементов** (*нагруженный резерв*) (рис. 9.4 а, б). В полностью резервированной системе отказ одного или нескольких элементов не приводит к отказу всей системы. При постоянном резервировании, которое иногда называют пассивным, резервные устройства постоянно включены в схему, при этом до момента ремонта включенными в схему остаются и отказавшие устройства. Постоянное резервирование отличается простотой схем, возможностью применения к различным конструкциям (системам, приборам, узлам, элементам) и даже к внутриэлементным связям. Наиболее эффективно постоянное резервирование для элементов и внутриэлементных связей.

Существенным недостатком постоянного резервирования является изменение параметров схемы и режимов работы при отказах резервных устройств, что в некоторых случаях недопустимо. Определенные технические трудности встречаются также при резервировании устройств, характеризующихся двумя типами отказов (обрыв и короткое замыкание). Кроме того, для ряда устройств автоматических систем постоянное резервирование технически трудно осуществить, а в некоторых случаях даже невозможно.

Как и всякому способу повышения безотказности, связанному с применением большего количества элементов, чем это требуется функциональной схемой, постоянному резервированию присущи также недостатки, связанные с увеличением веса, объема, стоимости аппаратуры и усложнением эксплуатации. Вес системы с постоянным резервированием может быть значительно уменьшен благодаря применению микроминиатюрных и молекулярных элементов.

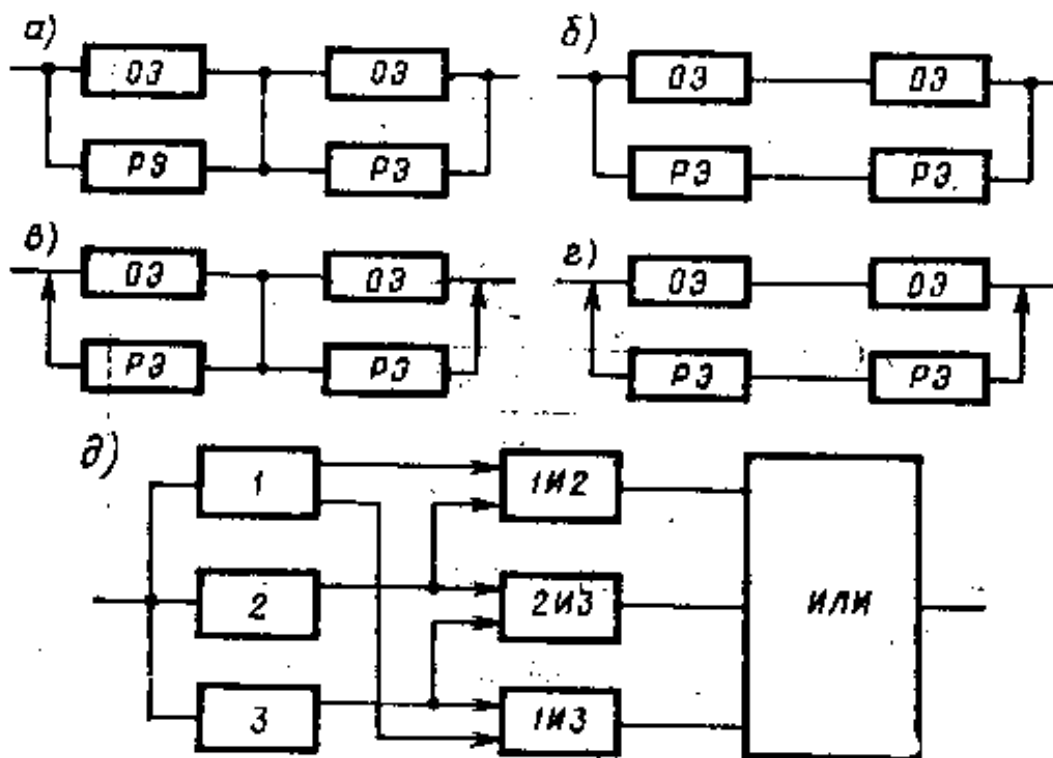


Рисунок 9.4 – Схемы резервирования:

a – поэлементного; *б* – общего; *в* – поэлементного замещением; *г* – т общего замещением; *д* – мажоритарного; *ОЭ* – основной элемент; *РЭ* – резервный элемент

Резервирование с поэлементным замещением (ненагруженный резерв). Достоинство – в сохранении ресурса резервных элементов. Не-

достаток – в дополнительной возможности отказа переключающего элемента (рис. 8.1 в).

Резервирование с общим замещением (*ненагруженный резерв* (рис. 8.1 г)). Общее правило, которое можно применять в схемном резервировании, гласит: чем мельче масштаб резервирования, тем больше надежность.

Широко используется схема **мажоритарного резервирования**, которая носит также название «*схема голосования из трех по два*». Неисправный канал автоматически исключается из линии передачи информации (рис. 8.1 д).

Резервирование осуществляют также с применением **логических схем**. Такое резервирование называют *активным*. Применение логических схем обеспечивает неизменность параметров схемы при отказах элементов, повышает безотказность системы при их использовании для устройств, характеризующихся отказами двух типов, позволяет сохранять ресурс резервных устройств, находящихся в режиме ожидания в ненагруженном состоянии. Резервирование с логическими схемами неизбежно связано с применением дополнительных устройств в виде индикаторов отказа, переключателей и т. д.

Надежность автоматической системы может в значительной степени снизиться также под воздействием внешних помех, перемежающихся или самовосстанавливающихся отказов и др., приводящих к искажению передаваемой информации. В этих случаях эффективным средством повышения надежности систем является применение, особенно в дискретных информационных системах, самокорректирующих кодов и избыточности передаваемой информации. Применение того или иного метода резервирования зависит от конкретных условий, от назначения и особенностей работы системы.

В общем случае невозможно применением только одного метода резервирования добиться высокой надежности автоматической системы. Высокая надежность системы может быть обеспечена только в результате комбинированного применения методов резервирования. Одним из направлений создания высоконадежных автоматических систем на основе комбинированных методов резервирования является применение самонастраивающихся и самоорганизующихся систем.

Одним из наиболее важных средств обеспечения высокой безотказности системы на стадии эксплуатации является строгое соблюдение условий технологических процессов. Соблюдение установленных технологических процессов должно начинаться с входного контроля материалов и изделий, применяемых в системе, обеспечении при необходимости качественной замены материалов. В ряде случаев причиной низкой безотказности выпускаемых систем может быть загрязненное содержание оборудования и рабочих мест. Важным методом повышения

безотказности систем является правильная организация производственного контроля и уровень культуры производства.

Особый вред качеству системы наносится скрытыми производственными дефектами в результате нарушения технологического процесса. Обычно скрытые дефекты представляют наибольшие технические трудности при производственном контроле.

Наряду с производственным контролем безотказность сложных систем может быть существенно повышена, особенно для начального периода эксплуатации, проведением тренировочных испытаний системы (приработки) в производственных условиях. Это позволяет устранить большинство производственных и скрытых отказов, если приработка системы проходит при больших, по сравнению с номинальными, нагрузками.

Правильная организация эксплуатации системы является одним из решающих факторов обеспечения высокой надежности. Большое значение имеет и своевременное проведение профилактических мероприятий, позволяющих предупредить появление отказов системы в рабочий период времени. Одним из современных методов профилактики является прогнозирование отказов, позволяющее своевременно заменить так называемые критические элементы и тем самым исключить их отказы. Естественно, что полностью исключить отказы в рабочий период не удастся, поэтому необходимо проектировать систему и правила ее эксплуатации таким образом, чтобы обеспечить минимальное время восстановления отказавшей системы. В этой связи большое значение имеет разработка схем автоматической проверки и обнаружения отказов (системы диагностирования), а также, если это возможно, и схем самовосстановления отказов.

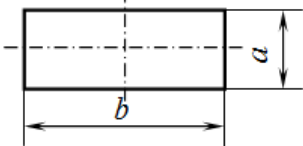
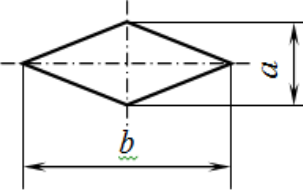
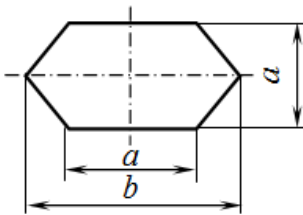
Из эксплуатационных факторов важная роль в поддержании высокой надежности автоматических систем принадлежит обслуживающему персоналу, его технической подготовке, опыту и другим качествам.

Большое значение для повышения надежности системы имеет организация эксплуатации, в частности снабжение систем запасными элементами и материалами, техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации, организация ремонтных органов и др.

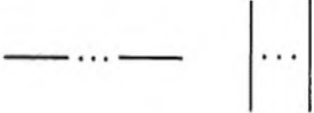
10 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Описание технологического процесса происходит при помощи создания алгоритма работы системы, который удобно представлять в виде схемы. При выполнении схем алгоритмов отдельные функции системы, с учетом их детализации, отображаются в виде условных графических обозначений – символов по ГОСТ 19.701–90. Стандарт устанавливает перечень, наименования, форму, размеры символов и отображаемые символами функции. Перечень, наименование, обозначение и размеры некоторых наиболее употребительных символов и отображаемых ими функций в алгоритме и программе обработки данных приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Перечень, наименование, обозначение и размеры некоторых наиболее употребительных символов и отображаемых ими функций в алгоритме и программе обработки данных

Наименование	Обозначение, размеры	Функция
1	2	3
1. Процесс		Обработка данных любого вида (выполнение определённой операции или группы операций, приводящее к изменению значения, формы или размещения информации к определению, по которому из нескольких направлений потока следует двигаться).
2. Решение		Отображает решение или функцию переключательного типа, имеющую один вход и ряд альтернативных выходов, один и только один из которых может быть активизирован после вычисления условий, определённых внутри этого символа. Соответствующие результаты вычисления могут быть записаны по соседству с линиями, отображающими эти пути.
3. Подготовка		Отображает модификацию команды или группы команд с целью воздействия на некоторую последующую функцию (установка переключателя, модификация индексного регистра или инициализация программы).

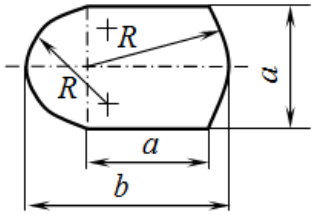
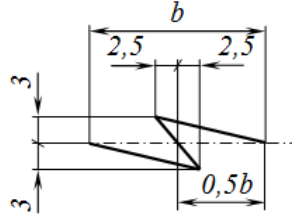


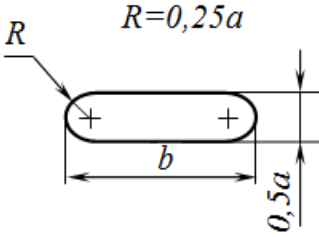
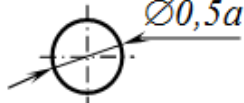
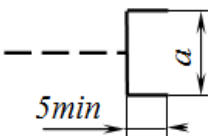
Продолжение таблицы 10.1

1	2	3
4. Предопределенный процесс		<p>Отображает предопределённый процесс, состоящий из одной или нескольких операций или шагов программы, которые определены в другом месте (в подпрограмме, модуле).</p>
5. Ручная операция		<p>Отображает любой процесс, выполняемым человеком.</p>
6. Бумажная лента		<p>Отображает данные, представленные на носителе в виде бумажной ленты.</p>
7. Передача управления		<p>Отображает непосредственную передачу управления от одного процесса к другому, иногда с возможностью прямого возвращения к инициирующему процессу после того, как инициированный процесс завершит свои функции. Тип передачи управления должен быть назван внутри символа (например, запрос, вызов, событие).</p>
8. Граница цикла		<p>Отображает начало и конец цикла. Обе части символа имеют один и тот же идентификатор. Условия для инициализации, приращения, завершения и т. д. помещаются внутри символа в начале или в конце в зависимости от расположения операции, проверяющей условие.</p>
9. Пропуск		<p>Отображение пропуска символа или группы символов, в которых не определены ни тип, ни число символов. Символ используют только в символах линии или между ними. Он применяется главным образом в схемах, изображающих общие решения с неизвестным числом повторений.</p>

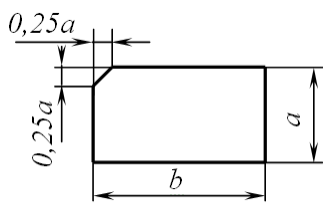
Продолжение таблицы 10.1

1	2	3
10. Ручной ввод		<p>Отображает данные, вводимые вручную во время отработки с устройств любого типа (клавиатура, переключатели, кнопки, световое перо, полосы со штриховым кодом).</p>
11. Данные		<p>Отображает данные, носитель которых не определён. Преобразование данных в форму, пригодную для обработки (ввод) или отображения результатов обработки (вывод).</p>
12. Документ		<p>Отображает данные, представленные на носителе в удобном формате машинограмма, документ для оптического или магнитного считывания, микрофильм, рулон ленты с итовыми данными, бланки ввода данных.</p>
13. Запоминающее устройство с последовательным доступом		<p>Отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с последовательным доступом (магнитная лента, кассета с магнитной лентой, магнитофонная кассета).</p>
14. Запоминающее устройство с прямым доступом		<p>Отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с прямым доступом (магнитный диск, магнитный барабан, гибкий магнитный диск).</p>
15. Оперативное запоминающее устройство		<p>Отображает данные, хранящиеся в оперативном запоминающем устройстве.</p>

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3
16. Дисплей		<p>Отображает данные, представленные в человекочитаемой форме на носителе в виде отображающего устройства (экран для визуального наблюдения, индикаторы ввода информации).</p>
17. Канал связи		<p>Отображает передачу данных по каналу связи.</p>
18. Линия		<p>Отображает поток данных или управление.</p>
19. Параллельные действия		<p>Отображает синхронизацию двух или более параллельных операций.</p>
20. Терминатор		<p>Отображает выход во внешнюю среду и вход из внешней среды (начало или конец схемы программы, внешнее использование и источник или пункт назначения данных).</p>
21. Соединитель		<p>Отображает выход в часть схемы или вход из другой части этой схемы и используется для обрыва линии и продолжения её в другом месте. Соответствующие символы-соединители должны содержать одно и то же уникальное обозначение.</p>
22. Комментарий		<p>Используется для добавления описательных комментариев или пояснительных записей в целях объяснения или примечаний. Пунктирные линии в символе комментария связаны с соответствующим символом или могут обводить группу символов. Текст комментариев или примечаний должен быть помещён около ограничивающей фигуры.</p>

Окончание таблицы 10.1

1	2	3
23. Пунктирная линия	- - - - -	Отображает альтернативную связь между двумя и более символами. Кроме того, символ используют для обведения аннотированного участка.
24. Карта		Отображает данные, представленные на носителе в виде карты (перфокарты, магнитные карты, карты со считываемыми метками, карты с отрывным ярлыком, карты со сканируемыми метками).

Размер a должен выбираться из ряда 10, 15, 20 мм. Допускается увеличивать размер a на число, кратное 5. Размер b равен $1,5 a$.

Примечание. При ручном выполнении схем алгоритмов и программ для символов 1–5, 12 допускается устанавливать b равным $2 a$.

Правила выполнения схем алгоритмов и программ, выполняемых автоматическим способом или от руки, устанавливает ГОСТ 19.701–90.

Приведем некоторые наиболее важные правила выполнения схем и правила применения символов, установленные ГОСТ 19.701–90.

10.1 Правила выполнения схем

Существует ряд правил для выполнения схем:

1. При выполнении схем алгоритмов отдельные функции алгоритмов, с учётом степени их детализации отображаются в виде условных графических обозначений – символов по ГОСТ 19.701–90.

2. Для облегчения вычерчивания и нахождения на схеме символов рекомендуется поле листа разбивать на зоны. Размеры зон устанавливают с учетом минимальных размеров символов, изображенных на данном листе. Допускается один символ размещать в двух и более зонах, если размер символа превышает размер зоны.

3. Координаты зон проставляют:

– по горизонтали – арабскими цифрами слева направо в верхней части листа;

– по вертикали – прописными буквами латинского алфавита сверху вниз в левой части листа.

4. Координаты зон в виде сочетания букв и цифр присваивают символам, вписанным в поля этих зон, например, A1, A2, A3, B1, B2, B3 и т. д.

При выполнении схем от руки, если поле листа не разбито на зоны, символам присваиваются порядковые номера.

5. В пределах одной схемы, при выполнении её от руки, допускается применять не более 2 смежных размеров ряда чисел, кратных 5.

6. Для ускорения выполнения схем от руки рекомендуется использовать бланки с контуром прямоугольника внутри каждой зоны. Контуры не должны воспроизводиться при изготовлении копии.

7. Расположение символов на схеме должно соответствовать требованиям ГОСТ 19.701–90.

Исключение составляют обязательные символы «Линия потока», «Канал связи», «Комментарий».

8. Линии потока должны быть параллельными линиям внешней рамки схемы.

9. Направление линии потока сверху вниз и слева направо принимают за основное и, если она не имеет изломов, то стрелками ее можно не обозначать. В остальных случаях направление линий потока обозначать стрелкой обязательно.

10. Расстояние между параллельными линиями потока не менее 3 мм, между остальными символами схемы – не менее 5 мм.

11. Записи внутри символа или рядом с ним должны выполняться машинописью с одним интервалом или чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304–68.

12. Записи внутри символа или рядом с ним должны быть краткими. Сокращение слов или аббревиатуры, за исключением установленных государственными стандартами, должны быть расшифрованы в нижней части поля схемы или в документе, к которому эта схема относится.

13. Для удобства детализации программы должны быть использованы символы «Процесс», «Решение», «Подготовка», «Данные» и «Терминатор».

14. Записи внутри символа должны быть представлены так, чтобы их можно было читать слева направо и сверху вниз, независимо от направления потока (рис. 10.1). Вид *a* должен быть прочитан как вид *b*.

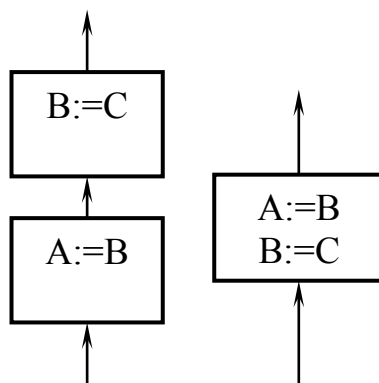


Рисунок 10.1 – Пример записи внутри символа

15. В схеме символу может быть присвоен идентификатор, который должен помещаться слева над символом (например, для ссылки в других частях документации) (рис. 10.2).

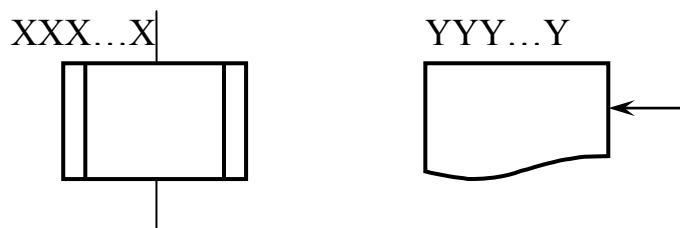


Рисунок 10.2 – Пример символа с идентификатором

16. В схемах допускается краткая информация о символе (описание, уточнение или другие перекрёстные ссылки для более полного понимания функций данной части системы). Описание символа должно помещаться справа над символом (рис. 10.3).

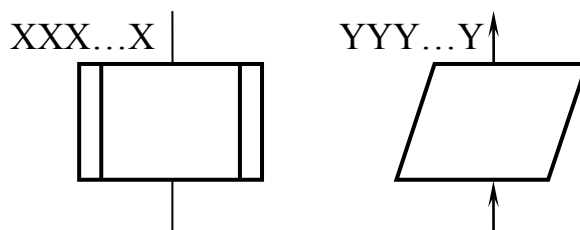


Рисунок 10.3 – Пример выполнения описания символа

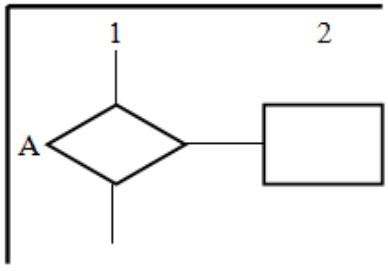
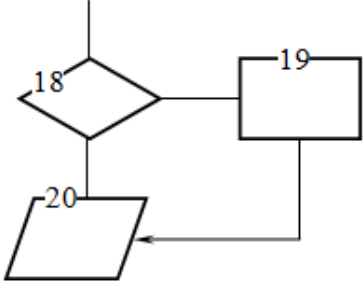
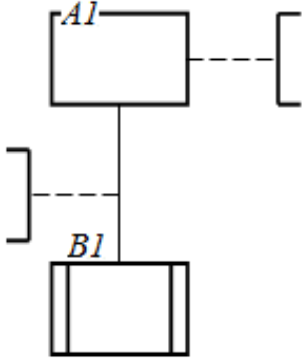
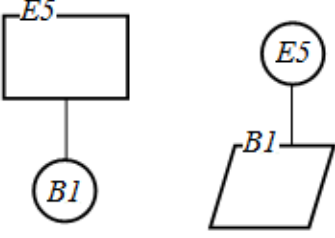
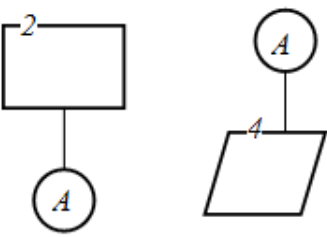
10.2 Правила применения символов

Применение символов должно соответствовать указанному в таблице 10.2.

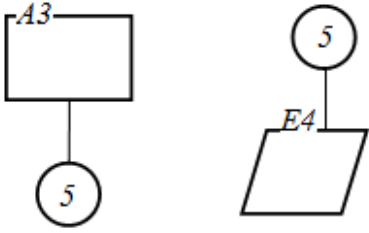


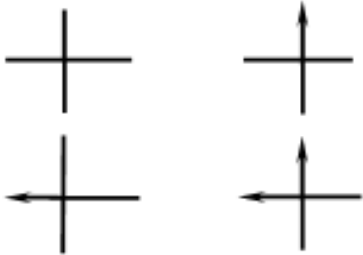
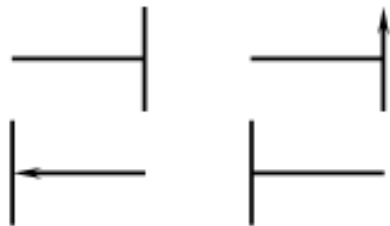
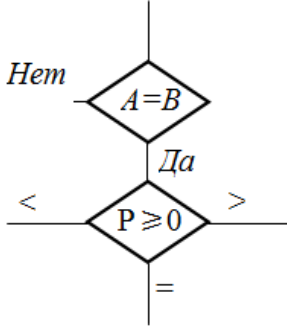
Таблица 10.2 – Правила применения символов

Фрагмент схемы	Содержание обозначения	Правила применения
1	2	3
	<p>Возможные варианты обозначения символов в схемах: B2, B3, C2 – координаты зоны листа, в которой размещен символ;</p>	<p>Координаты зоны символа или порядковый номер проставляют слева в верхней части символа в разрыве его контура</p>

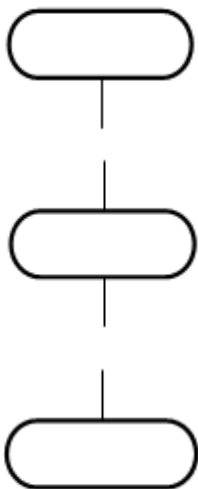
Продолжение таблицы 10.2

1	2	3
		<p>Допускается не проставлять координаты символов при выполнении схем от руки и при наличии координатной сетки</p>
	<p>18, 19, 20 – порядковые номера символов на схеме</p>	
	<p>Комментарий</p>	<p>Применяется, если пояснение не помещается внутри символа (для пояснения характера параметров, особенностей процесса, линий потока и др.). Комментарий записывают параллельно основной надписи. Комментарий помещают в свободном месте схемы алгоритма на данном листе и соединяют с поясняемым символом</p>
	<p>Соединитель: E5, B1, A5 – идентификаторы соединителя в виде: буквы и цифры (координаты зоны листа)</p>	
	<p>Буквы</p>	<p>При большой насыщенности схемы символами отдельные линии потока между удаленными друг от друга символами допускается обрывать. При этом в конце (начале) обрыва должен быть помещен символ «Соединитель»</p>

Продолжение таблицы 10.2

1	2	3
	<p>Цифры</p>	
	<p>Линии потока</p>	<p>Применяют для указания направления линии потока: можно без стрелки, если линия направлена слева направо и сверху вниз; со стрелкой – в остальных случаях</p>
	<p>Излом линии потока под углом 90°</p>	<p>Обозначает изменение направлений линии потока</p>
	<p>Пересечение линий потока</p>	<p>Применяется в случае пресечения двух несвязанных линий потока</p>
	<p>Слияние линий потока</p>	<p>Применяется в случае слияния линий потока, каждая из которых направлена к одному и тому же символу на схеме</p>
	<p>Возможные варианты отображения решения: $A = B$, $P/0$ – условия решений; A, B, P – параметры</p>	<p>При числе исходов не более трех признак условия решения (Да, Нет, =, >, <) проставляют над каждой выходящей линией потока или справа от линии потока</p>

Окончание таблицы 10.2

1	2	3
	<p data-bbox="762 286 837 324">Пуск</p> <p data-bbox="715 465 885 504">Прерывание</p> <p data-bbox="746 645 853 683">Останов</p>	<p data-bbox="965 235 1348 571">Символы применяют в начале схемы алгоритма или программы, в случае прерывания её и в конце. Внутри символа «Пуск – останов» может указываться наименование действия или идентификатор программы</p>

11 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для разработки программного обеспечения необходимо, исходя из перечня оборудования, выбрать среду разработки. На основании вышеупомянутых пунктов (структурной схемы управления, функциональной схемы, алгоритма работы системы) разрабатывается программа управления технологическим процессом на одном из языка стандарта МЭК 61131-3 (в частности SFC) [18].

В структуру программы управления входят [19]:

- блок описания переменных, используемых в программе, представленный в виде листинга;
- основной код программы;
- коды подпрограмм, функциональных блогов, функций (если таковые имеются, исходя из алгоритма работы);
- визуализация работы программы.

В блок описания переменных входит листинг, в котором указываются имя переменной, тип данных, начальное значение (если таковое имеется) и комментарий (листинг 11.1). Параметры листинга: шрифт – Consolas либо Courier NEW, размер шрифта – от 9 до 14.

В основном коде пользователь описывает работу программы, на выбранном языке (рис. 11.1).

Визуализация работы программы. Для визуализации процессов работы технологического процесса разработчик может воспользоваться рядом средств для визуализации процесса при помощи встроенных программ, сторонних программ и т.п. Пример выполнения визуализации представлен на рисунке 11.2.

Листинг 11.1 – Описание переменных проекта

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
  pusk:BOOL; (*запуск системы*)
  sbros:BOOL; (*возврат системы*)
  past detal:BOOL; (*разместить деталь*)
  take detali:BOOL; (*захват детали*)
  return pol:BOOL; (*отпускание детали*)
  tek speed:INT; (*текущая скорость*)
  zad speed:INT; (*заданная скорость*)
  rs1:RS;
  work:BOOL; (*работа системы*)
  rs2:RS;
  show detal:BOOL; (*отображение детали*)
  rs3:RS;
  rs4:RS;
  angle:INT;
  angle1:INT:= -90; (*угол поворота левой части*)
```

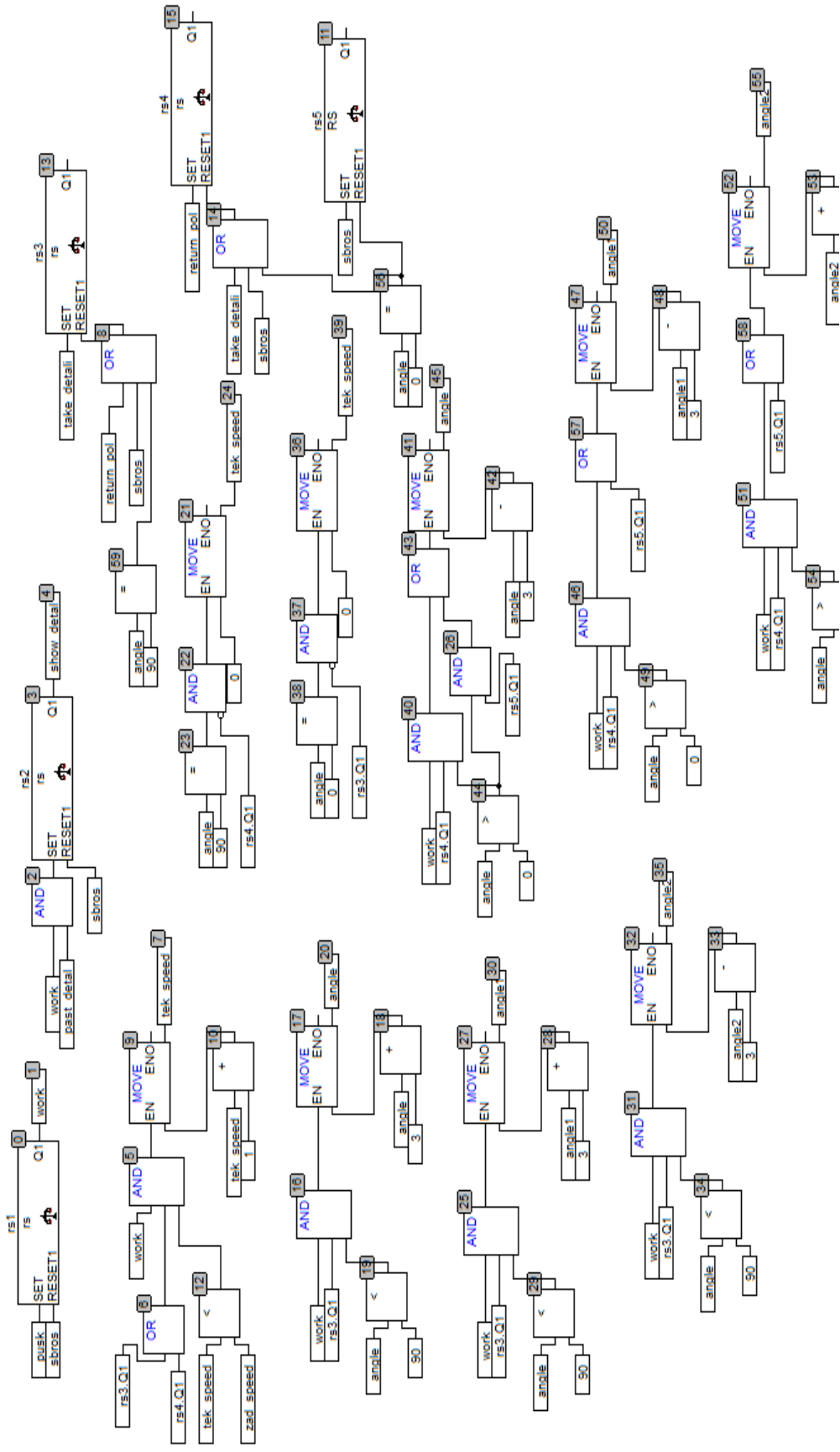


Рисунок 11.1 – Основной код программы

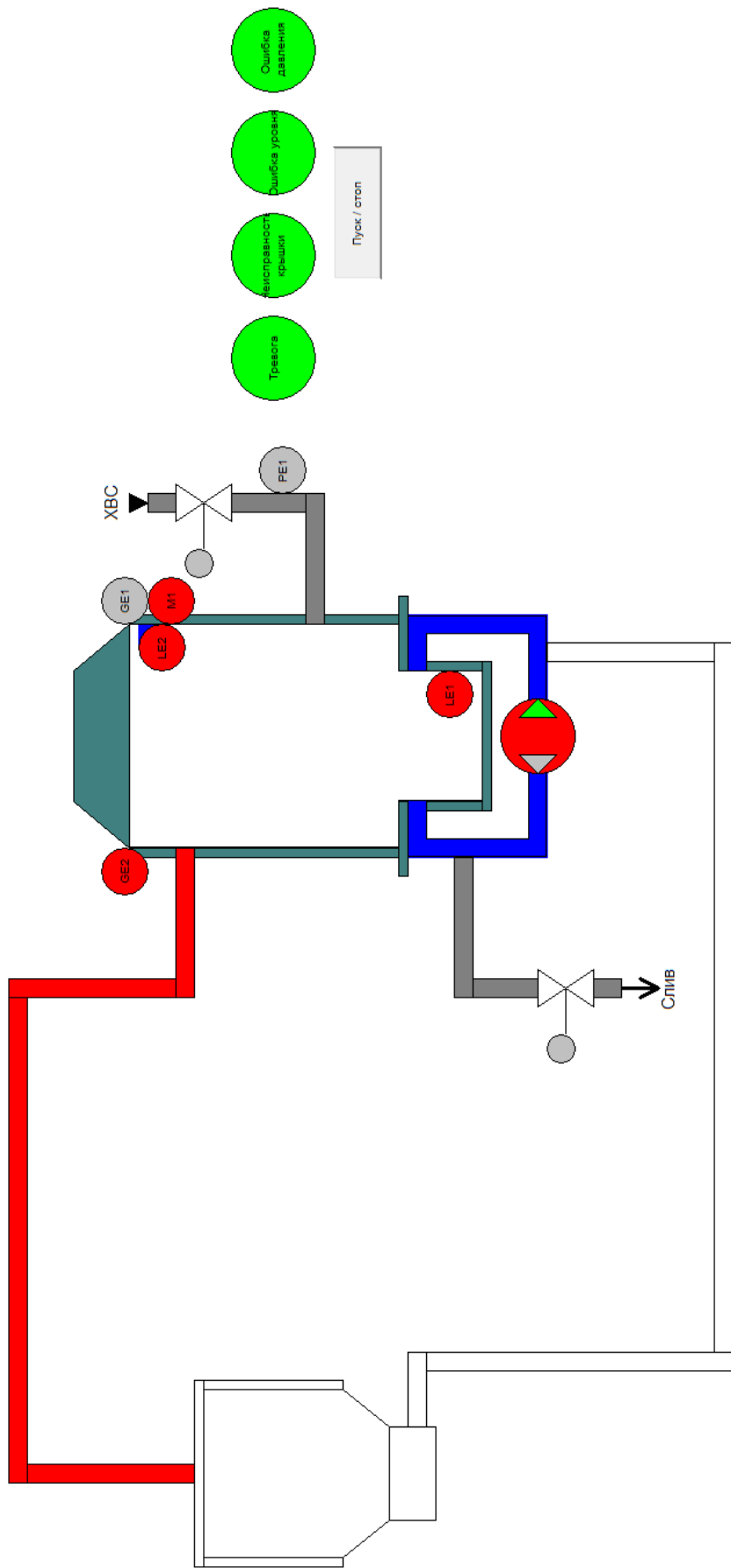


Рисунок 11.2 – Визуализация технологического процесса

12 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

В разделе представлены примеры составления описанных схем, описывающих работу автоматизированной системы управления общеобменной вентиляцией промышленного помещения.

Общеобменная вентиляция – это система вентиляции, которая предназначена для поддержания оптимального микроклимата во всем помещении, обеспечивая постоянный воздухообмен и удаление загрязненного воздуха. Общеобменная вентиляция осуществляет циркуляцию воздуха по всему цеху или в большей его части. Она не имеет проблем, связанных с атмосферным влиянием и может перемещать воздушные массы на большие расстояния по каналам любой конфигурации.

При общеобменной вентиляции требующийся воздухообмен определяют из условий удаления избыточной теплоты и разбавления вредных выделений свежим воздухом до предельно допустимых концентраций. Структурная, функциональная схема автоматизации, электрическая схема, алгоритм функционирования и программа управления системы представлены ниже.

Структурная схема отражает структуру управления процессом с соблюдением иерархии и взаимосвязи между элементами системы. По структурной схеме можно судить о количестве и характере контуров управления (замкнутых или разомкнутых).

Структура системы управления вентиляцией производственного помещения представлена на рисунке 12.1.

Расшифровка обозначений, представленных на схеме:

- объект управления (ОУ);
- устройство управления (УУ);
- датчик температуры (ДТ1..ДТ5);
- датчик влажности (ДВ1..ДВ3);
- клапан (КЛ1..КЛ9);
- датчик положения (ДП1-ДП9);
- вентиляторы для подачи воздуха(М1-М3);
- насос для циркуляции воды(М4).

Основными контролируруемыми параметрами разрабатываемой системы являются: изменение положения задвижек и кранов, контроль температуры и влажности на этапах обработки воздуха.

Управляющее устройство – это сложная система, содержащая в себе программируемый промышленный контролер. Предназначено для определения и отправки управляющих сигналов в зависимости от заложенных алгоритмов управления и опрашиваемых сигналов датчиков.

На основе показания датчиков температуры и влажности система определяет режим работы и необходимые параметры обрабатываемого воздуха.

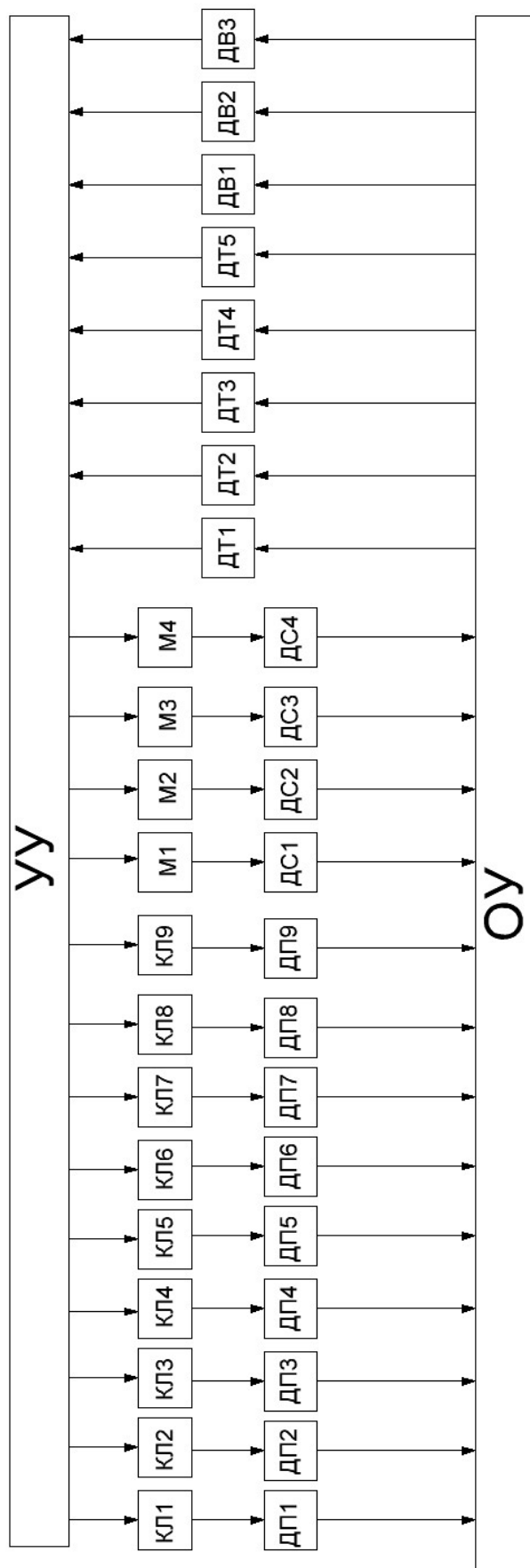


Рисунок 12.1 – Структура системы управления вентиляцией

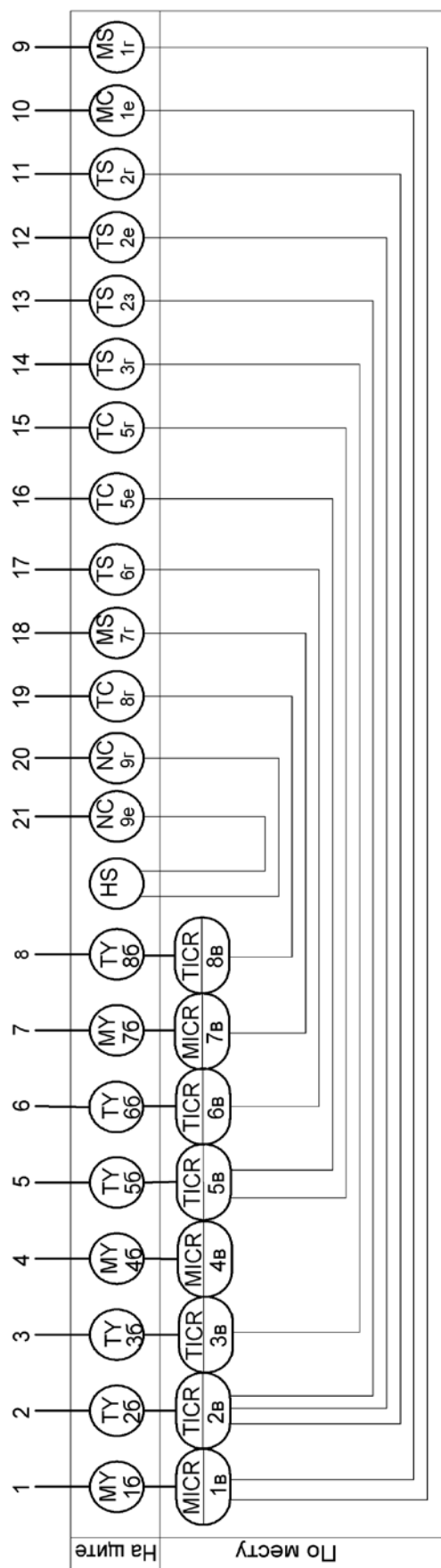


Рисунок 12.3 – Функциональная схема автоматизации
(Приборы на щите и по месту)

В таблице 12.1 дана расшифровка элементов функциональной схемы.

Таблица 12.1 – Обозначение устройств функциональной схемы.

Обозначение	Наименование устройств
1	2
	Датчик температуры
	Преобразователь сигнала с датчика температуры к устройству управления, расположенному по месту
	Устройство управления по каналу температуры, выполняющее функции индикации, регистрации и автоматического регулирования, расположенного на щите
	Датчик влажности
	Преобразователь сигнала с датчика влажности к устройству управления, расположенному по месту
	Устройство управления по каналу влажности, выполняющее функции индикации, регистрации и автоматического регулирования, расположенного на щите
	Самосрабатывающее устройство безопасности
	Устройство, управляющее приводом с двухпозиционным регулированием, расположенным по месту
	Устройство, управляющее приводом с плавным регулированием, расположенным по месту
	Устройство, управляющее приводом с двухпозиционным регулированием, расположенным по месту
	Устройство, управляющее приводом с плавным регулированием, расположенным по месту
	Пульт управления

1) Контур регулирования положения заслонок первой и второй рециркуляции.

Сигнал с датчика влажности 1а через вторичный преобразователь 1б поступает на вход контроллера 1в, который обрабатывает полученное значение влажности и посылает управляющий сигнал через силовые преобразователи 1г, 1е на задвижки 9д и 10ж.

2) Контур регулирования частоты асинхронных двигателей

Сигнал с датчика скорости 2а поступает на вход контроллера 2в, который обрабатывает полученное значение температуры и посылает управляющий сигнал через частотные регуляторы 2б на двигатели 11д и 13и.

3) Контур регулирования положения клапана байпаса камеры орошения.

Сигнал с датчика температуры 3а и влажности 4а через вторичные преобразователи 3б и 4б поступает на входы контроллера 3в и 4в, который обрабатывает полученное значение температуры и посылает управляющий сигнал через силовой преобразователь 3г на задвижку 14д.

4) Контур регулирования потока горячего и холодного теплоносителя для первичного подогрева.

Сигнал с датчика температуры 5а через вторичный преобразователь 5б поступает на вход контроллера 5в, который обрабатывает полученное значение температуры и посылает управляющий сигнал через силовой преобразователь 5г на привод крана 15д и через силовой преобразователь 5е на привод крана 16ж .

5) Контур регулирования насоса холодильника.

Сигнал с датчика температуры 8а через вторичный преобразователь 8б поступает на вход контроллера 8в, который обрабатывает полученное значение температуры и посылает управляющий сигнал через силовой преобразователь 8г на насос 18д.

6) Контур регулирования потока теплоносителя для вторичного подогрева.

Сигнал с датчика температуры 8а через вторичный преобразователь 8б поступает на вход контроллера 8в, который обрабатывает полученное значение температуры и посылает управляющий сигнал через силовой преобразователь 8г на привод крана 19д.

Электрическая схема представлена на рисунке 12.4. В состав электрической схемы входит:

А1 – контроллер;

А2-А5 – модули расширения;

А6 – панель оператора;

А7, А8 – преобразователи влажности;

ВМ1 – датчик влажности;

ВТМ1, ВТМ2 – датчики температуры и влажности на улице;

ВТ1 – ВТ3 – датчики температуры в помещении;

Г1 – Г3 – блоки питания;

М1 – М3 – двигатели;

U1 – U8 – приводы;

UZ1 – UZ3 – частотные преобразователи.

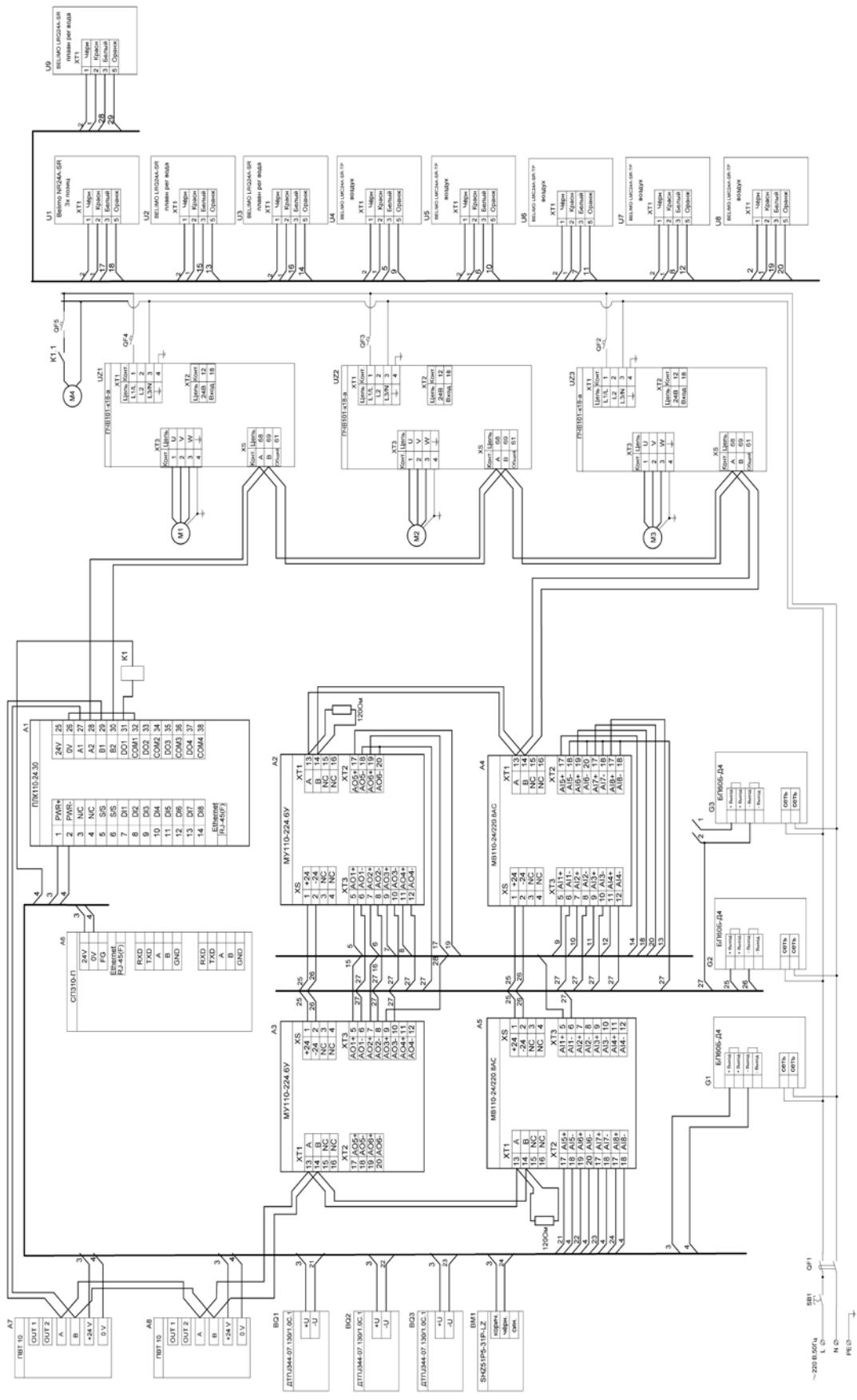


Рисунок 12.4 – Электрическая схема системы управления вентиляцией

Датчики ВТМ1, ВТМ2 осуществляют измерение температуры и влажности в помещении (ВТМ1) и на улице (ВТМ2). Они сигнализируют о соответствии или нет параметров климата. Также на основании сигналов с этих датчиков, контроллер А1 формирует сигналы управления для приводов U1–U8, для прохождения цикла обработки воздуха.

Датчики ВТ1–ВТ3 осуществляют измерение температуры в камерах первичного (ВТ1), вторичного (ВТ3) подогревов и в камере орошения (ВТ2). Они сигнализируют о уровне нагревания воздуха в камерах подогрева и воды в камере орошения. Также на основании сигналов с этих датчиков, контроллер А1 формирует сигналы управления для насосов и кранов, регулирующих расход теплоносителя и поддерживающих температуру воды в камере орошения.

Датчик ВМ1 осуществляет измерение влажности в камере орошения. Он сигнализирует о уровне влажности. Также на основании сигнала с этого датчика, контроллер А1 формирует сигналы управления для насоса, на включение/выключение.

Алгоритм функционирования системы показан на рисунке 12.5.

Любое целенаправленное действие сложной системы связано с понятием алгоритма. Он определяет последовательность действий объекта для достижения цели. Разработку алгоритма работы для автоматизированной системы приготовления растворов на водной основе ведём в соответствии с ГОСТ 19.701-90, техническим заданием, структурной и функциональной схемами автоматизированной системы управления.

В данной проектируемой системе можно выделить следующие функциональные блоки:

- блок 1 – начало функционирования;
- блок 5 – подпрограмма ввода параметров; блок 6 – проверка нажатия кнопки «пуск»;
- блоки 7 – проверка соответствия температуры наружного воздуха с температурой росы;
- блок 8 – проверка соответствия текущей и заданной влажности;
- блок 9 – подпрограмма вторичного подогрева;
- блок 10 – опрос кнопки «стоп»;
- блок 11 – проверка в какую сторону отклонение температуры;
- блок 12 – открытие клапана для подачи ХВС в камеру первичного подогрева;
- блок 13 – открытие клапана для подачи ГВС в камеру первичного подогрева;
- блок 14 – ожидание достижения необходимой температуры;
- блок 15 – запуск насоса для перекачки воды в камеру орошения;
- блок 16 – проверка на превышение температуры воды;
- блок 17 – открытие трёхходового крана и перекачка воды через холодильник;

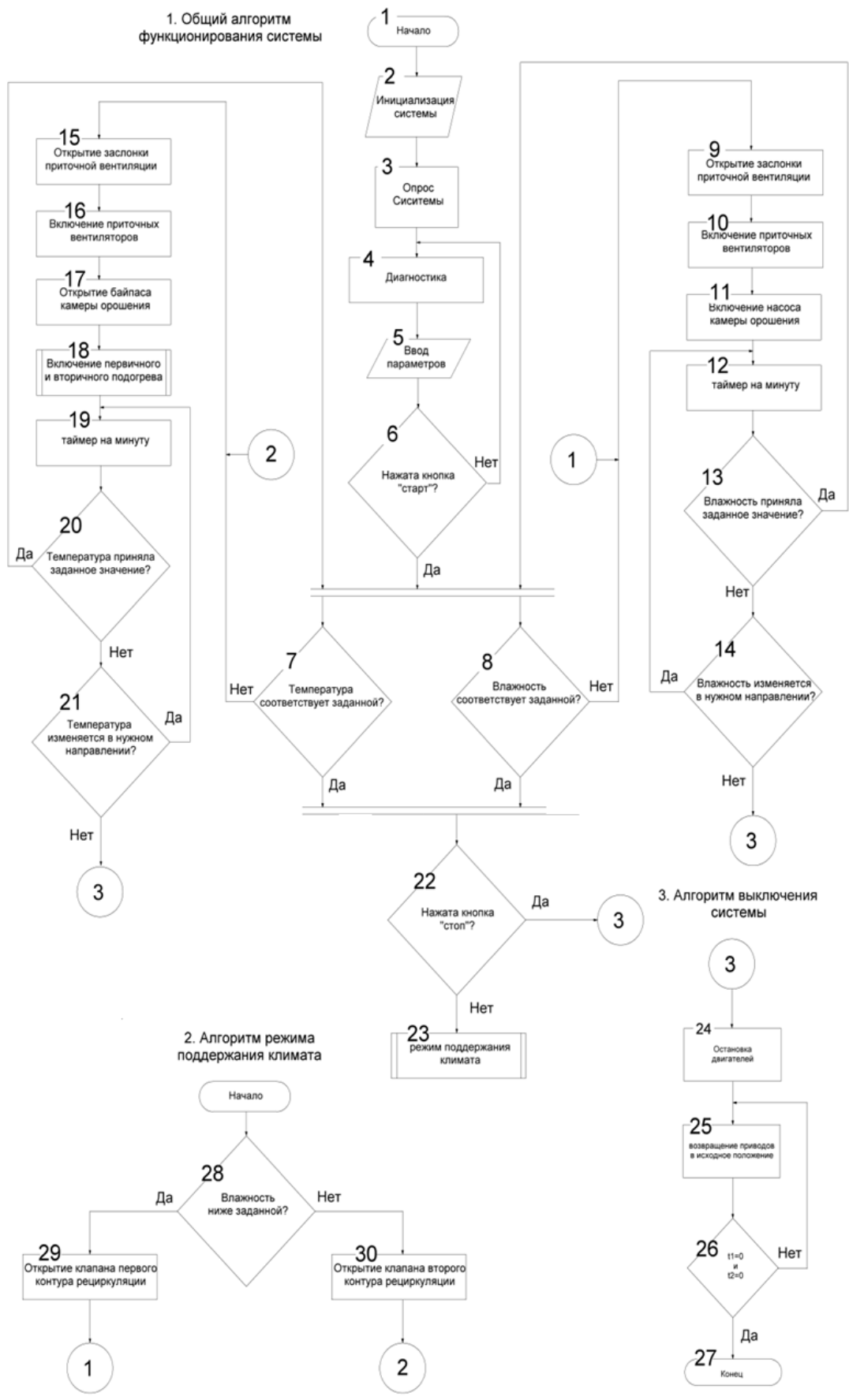


Рисунок 12.5 – Алгоритм функционирования системы

- блоки 18 – проверка соответствия влажности в камере орошения и заданной;
- блок 19 – открытие клапана ГВС для камеры вторичного подогрева;
- блок 20 – проверка соответствия температуры в камере вторичного подогрева заданной;
- блок 21 – ожидание достижения необходимой температуры;
- блок 22 – запуск вентиляторов для проветривания помещения;
- блок 23 – остановка двигателей;
- блок 24 – возвращение приводов в исходное положение.
- блок 25 – конец функционирования данной системы.

Система работает следующим образом: при нажатии на кнопку «START» начинает работать вентилятор М1, который подаёт наружный воздух в камеру первичного подогрева. Далее температура приточного воздуха необходимо сравнить с температурой росы. В зависимости от температуры наружного воздуха открывается клапан либо с горячим, либо с холодным водоснабжением. Как только заданная температура в камере первичного подогрева достигнута, воздух поступает в камеру орошения, включается насос М3, который отвечает за подачу воды в камеру орошения. В случае нагрева воды переключается трёхпозиционный клапан, и вода начинает циркулировать через холодильник. В случае если заданная влажность соответствует влажности приточного воздуха, открывается клапан в обход камеры орошения. Как только заданная влажность достигнута, воздух проходит в камеру вторичного подогрева. После поступления воздуха в камеру вторичного подогрева открывается клапан горячего водоснабжения и воздух нагревается до заданного значения. Как только температура в камере вторичного подогрева достигнет заданного значения включаются вентиляторы М2 и М4 которые доставляют воздух с заданными параметрами в рабочее помещение. Визуализация работы программы представлена на рисунке 12.6.

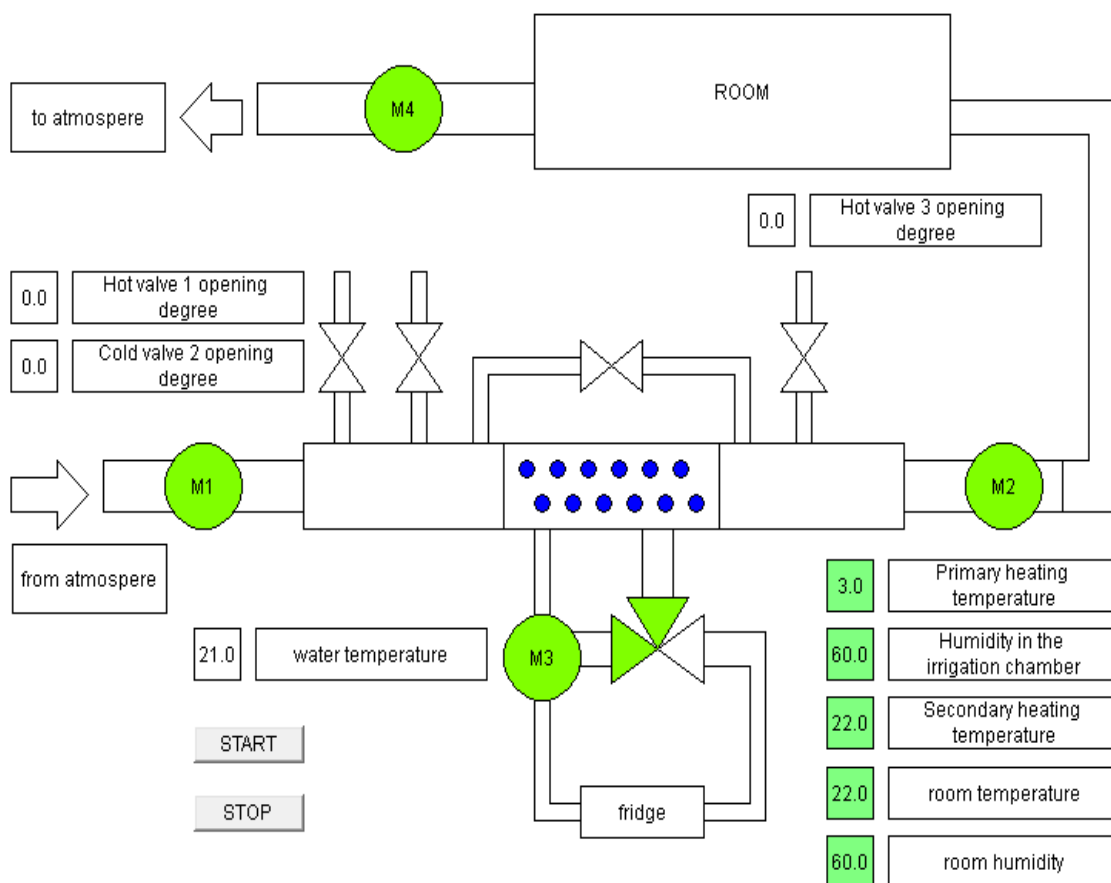


Рисунок 12.6 – Визуализация программы системы управления вентиляцией

Исходный код программы представлен на рисунке 12.7.

Инициализация переменных главной программы представлена в листинге 12.1.

Листинг 12.1

```

PROGRAM PLC_PRG
VAR
  start: BOOL; (*кнопка старт*)
  stop: BOOL; (*кнопка стоп*)
  rs1: RS;
  work: BOOL; (*состояние работы системы*)
  perv1: perv; (*функциональный блок для первичного
  подогрева*)
  temp_vneshn: REAL; (*температура внешнего воздуха*)
  rosa: REAL; (*температура росы*)
  ok: BOOL;
  temp_zadan: REAL; (*заданная температура*)
  perv_klapn: BOOL; (*вентилятор M1*)
  gor_klapn: BOOL;
  hol_klapn: BOOL;

```

```

temp_pervich: REAL; (*температура в камере первич-
ного подогрева*)
step_gor_kl: REAL; (*степень открытия клапана горя-
чего водоснабжения*)
step_hol_kl: REAL; (*степень открытия клапана хо-
лодного водоснабжения*)
or1: oroshenie;
zad_hum: REAL; (*заданная влажность*)
vnesh_hum: REAL; (*влажность внешнего воздуха*)
ok1: BOOL;
hum_kamera: REAL; (*влажность в камере орошения*)
v1: vtorich; (*функциональный блок для вторичного
подогрева*)
ok3: BOOL;
temp_vtor: REAL; (*температура воздуха в камере
вторичного подогрева*)
p1: pom;
ok4: BOOL;
temp_pom: REAL; (*текущая температура воздуха в по-
мещении*)
temp_pom_ish: REAL; (*исходная температура воздуха
в помещении*)
hum_pom_ish: REAL; (*исходная влажность воздуха в
помещении*)
ok5: BOOL;
hum_pom: REAL; (*текущая влажность в помещении*)
work_hum: BOOL;
vtor_temp_ok_out: BOOL;
temp_vod: REAL; (*температура воды для камеры оро-
шения*)
dvig_ohlad: BOOL;
vtor_work: BOOL;
voda_temp: REAL; (*начальная температура воды для
камеры орошения*)
step_vtor_kl: REAL;
bypass_vod: BOOL;
rs22: RS;
rs33: RS;
END_VAR

```

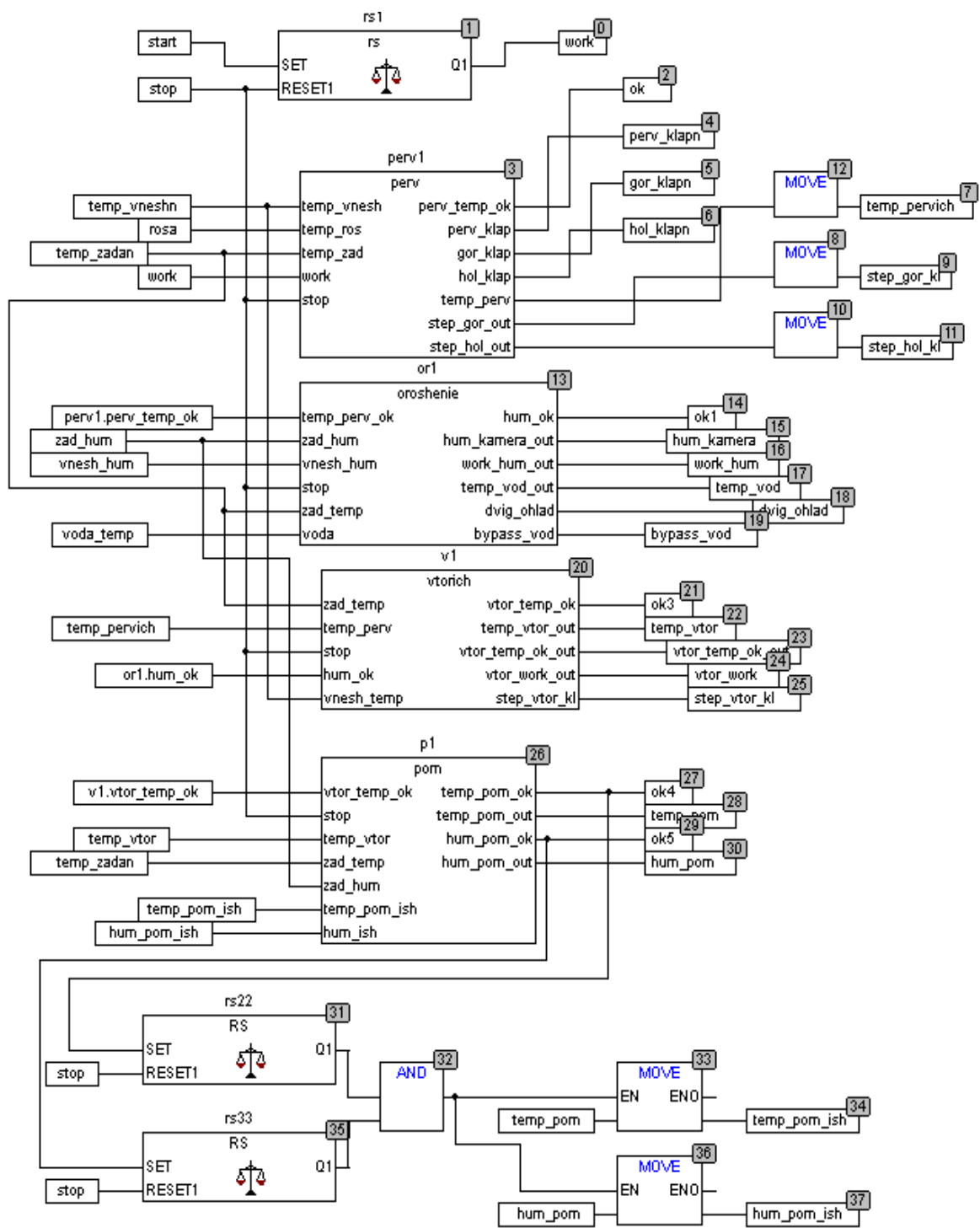


Рисунок 12.7 – Программа управления системой вентиляции

ЛИТЕРАТУРА

1. О порядке организации дипломного проектирования и защиты дипломных проектов (дипломных работ) : Положение 20.11.2018 г. № 467. – Витебск : УО «Витебский государственный технологический университет», 2018. – 38 с.
2. Автоматизация технологических процессов отрасли : методические указания / сост. К. Н. Ринейский, А. М. Самусев, С. А. Клименкова, А. М. Науменко. – Витебск : УО «ВГТУ», 2024. – 70 с.
3. Автоматика и автоматизация производственных процессов при производстве сборного железобетона : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» / С. Н. Ковшар, Ж. Л. Зеленковская. – Минск : БНТУ, 2020. – 40 с
4. ГОСТ 34.602-2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. – Введ. 2021-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 12 с.
5. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2022. – 377 с.
6. Технические средства автоматизации : учебное пособие / И. И. Гируцкий. – Минск : РИВШ, 2024. – 242 с.
7. Элементы и функциональные устройства судовой автоматике : учебное пособие / Б. А. Авдеев – Санкт-Петербург : Научно-технологические технологии, 2018. – 260 с.
8. ElectricalSchool.info – большой образовательный проект на тему электричества и его использования / Аналоговые, дискретные и цифровые сигналы – URL: <https://electricalschool.info/automation/2238-analogovye-diskretnye-i-cifrovye-signaly.html> – (дата обращения: 23.01.2025). – Текст : электронный.
9. Основы автоматизации швейного производства : учеб. пособие / А. А. Кузнецов [и др.]. – Минск : РИПО, 2021. – 175 с.
10. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматике : учебное пособие/ А. М. Водовозов. – Вологда : ВоГТУ, 2001. – 123 с.
11. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова, – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.
12. Миткевич, Ю. Д. Автоматизация технологических процессов и производств : лабораторный практикум / Ю. Д. Миткевич, Л. А. Киселев. – Москва : ИД МИСиС, 2004. – 25 с.

13. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств : учеб. пособие / А. А. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2025. – 224 с.
14. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – Введ. 2003-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2018 (издание с поправкой). – 27 с.
15. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. – Введ. 2006-01-09. – Москва : Стандартинформ, 2007 (переиздание с поправкой). – 14 с.
16. Нетес, В. А. Основы теории надежности : учебное пособие для вузов / В. А. Нетес. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2024. – 102 с. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2184231> (дата обращения: 26.01.2025). Текст : электронный.
17. Справочник. Надежность электрорадиоизделий / РНИИ "Электронстандарт", ОАО "Стандартэлектро"; сост. : А. А. Борисов [и др.]; отв. ред. С. Ф. Прытков. – Москва 2004. – 574 с.
18. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
19. Программируемые логические контроллеры для управления технологическими процессами : учебно-методическое пособие и лабораторные работы для студентов всех форм обучения специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств: в 2 ч. / Ю. Е. Лившиц, В. И. Лакин, Ю. И. Монич. – Минск : БНТУ, 2014. – Ч. 1. – 206 с
20. Петрова, И. В. Автоматизация технологических процессов и производств : учебно-методическое пособие / И. В. Петрова, Р. В. Чернухин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. – 84 с.
21. Петров, И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров ; под ред. В. П. Дьяконова. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
22. Экономика и организация машиностроительного производства. Дипломное проектирование : учебное пособие / А. А. Жолобов, А. Г. Барановский, В. Т. Высоцкий ; под ред. А. А. Жолобова. – Минск : РИВШ, 2021. – 320 с.
23. СТБ 1770-2016. Энергосбережение. Основные термины и определения. – Введ. 2017-01-07. – Минск : Госстандарт Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2017. – 20 с.
24. ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Введ. 2004-01-07. – Москва : Стандартинформ, 2010 (переиздание). – 48 с.

Учебное издание

Кузнецов Андрей Александрович
Клименкова Светлана Александровна
Науменко Андрей Михайлович
Ринейский Константин Николаевич
Самусев Артем Михайлович

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебное пособие

Редактор *Р.А. Никифорова*
Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *А.М. Науменко*

Подписано к печати 12.02.2026. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 9,6.
Уч.-изд. листов 11,2. Тираж 20 экз. Заказ № 39.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр-т, 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля.2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.