



КГУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К.Х. ГИЛЬФАНОВ, В.А. АРАПОВ

Утверждено
учебным управлением КГУ
в качестве учебного пособия
для студентов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по курсовому проектированию

Казань 2011

УДК 681.3(035.5)

ББК 32.973.2

Г 477

Гильфанов К.Х., В.А. Арапов. Проектирование автоматизированных систем:
Учеб. пособие. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2011.

В работе изложены материалы по изучению дисциплины «Проектирование автоматизированных систем». Приводятся основные сведения по проектированию автоматизированных систем, составу проектной документации, нормативно-техническому, технологическому, аппаратному и программному обеспечению проектируемых систем.

Учебное пособие предназначено для студентов очного и очно-заочного обучения по специализации 210211 «Автоматизация технологических процессов тепловых электрических станций» специальности 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств (в энергетике), а также может быть использовано студентами и аспирантами других специальностей при выполнении различных инженерно-технических и квалификационных работ.

Рецензенты

Д-р техн. наук проф. Казанского государственного
технологического университета К.Р. Шангареев

Д-р техн. наук проф. Казанского государственного
энергетического университета А.Г. Лаптев

Рекомендовано секцией РИС института теплоэнергетики КГЭУ
Председатель секции Ф.Г. Халитов

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование систем автоматизации - одно из наиболее сложных и важных направлений в инженерной деятельности. Поскольку автоматика является в настоящее время неотъемлемой составляющей любого технологического процесса, изучение ее основ - необходимое условие успешной работы инженеров и технологов. Данное учебное пособие предназначено помочь студентам в изучении принципов построения схем управления, дать комплекс знаний и сведений, необходимых для выполнения курсовых и дипломных проектов по автоматизации технологических процессов и производств, а также подготовить будущих инженеров для работы в области проектирования систем автоматизации.

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Все существующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащаются средствами автоматизации. Проектами наиболее сложных производств, особенно в энергетике, черной металлургии, нефтепереработке, химии и нефтехимии, на объектах производства минеральных удобрений предусматривается комплексная автоматизация технологических процессов. Средства автоматизации применяются также на объектах жилищного строительства и социально-бытового назначения в системах кондиционирования воздуха, дымоудаления, энергоснабжения и т.п.

Вопросы разработки проектов автоматизации технологических процессов рассматриваются на основе требований, содержащихся в «Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» СНиП 1.02.01-85, ГОСТ 24.101-80, ведомственных строительных нормах, стандартах «Системы проектной документации для строительства», а также стандартах Международной электротехнической комиссии (МЭК) и Государственных электротехнических нормах США и Канады [18-27].

Учебное пособие рассчитано на студентов и специалистов, разрабатывающих проекты автоматизации технологических процессов в различных отраслях народного хозяйства страны. Значительное внимание уделено требованиям к проектированию, учитывающим применение прогрессивной технологии производства монтажных работ, повышение сборности монтажа с целью сокращения сроков строительства, снижение трудоемкости работ и капитальных затрат на автоматизацию.

1. СОСТАВ ПРОЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Общие положения

При разработке проектной документации объектов промышленного строительства руководствуются строительными нормами (СН) и строительными нормами и правилами (СНиП), ведомственными строительными нормами (ВСН), государственными и отраслевыми стандартами [1].

Основным документом, определяющим общие требования к проектам, является «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» СНиП 1.02.01-85.

Состав, объем и содержание проектов автоматизации определяются ГОСТ 24.101–80, стандартами «Системы проектной документации для строительства» (СПДС), «Инструкцией по проектированию электроустановок систем автоматизации технологических процессов» ВСН 205 – 84.

При проектировании систем автоматизации технологических процессов необходимо максимально использовать типовые проекты, типовые монтажные чертежи (ТМ) и документацию на типовые и закладные конструкции (ТК и ЗК), разработанные головными по проектированию систем автоматизации организациями, а также руководствоваться монтажно-эксплуатационными инструкциями заводов-изготовителей приборов и средств автоматизации.

Проекты автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) выполняются на основании и в соответствии с заданием на проектирование. Основные технические решения, принятые в проекте систем автоматизации специализированными проектными организациями, должны рассматриваться и согласовываться с генпроектировщиком (заказчиком) в процессе разработки проекта.

Системы автоматизации технологических процессов являются частью системы управления промышленным предприятием, поэтому проект автоматизации должен быть увязан с проектом системы управления предприятием в целом (АСУП).

Проектированию систем автоматизации технологических процессов с применением средств вычислительной техники, а также автоматизации объектов с новой, неосвоенной или особо сложной технологией производства должны предшествовать научно-исследовательские работы, результаты которых используются при выполнении проекта.

При разработке проекта необходимо учитывать опыт монтажа элементов систем автоматизации. Поэтому разработка проекта автоматизации должна осуществляться в тесном содружестве с организациями, которые будут осуществлять работы по монтажу систем автоматизации.

Принципиальные технические решения по исполнению трубных и

электрических проводок, блочных заготовок систем автоматизации, применению и размещению кроссовых и других устройств должны приниматься на технических советах проектной организации с участием представителя монтажной организации.

Проектные материалы (чертежи, пояснительная записка, сметы и др.) должны иметь минимально необходимый объем и должны быть составлены ясно и четко, чтобы пользование ими не вызвало затруднений.

При разработке проекта автоматизации технологических процессов исполнитель составляет задание на выполнение работ, связанных с автоматизацией объекта в строительной, технологической, электротехнической и других частях и разделах проекта.

1.2. Задание на проектирование, исходные данные и материалы

Задание на проектирование систем автоматизации технологических процессов составляется генеральным проектировщиком или заказчиком с участием специализированной организации, которой поручается разработка проекта.

Задание на проектирование должно содержать следующие данные:

- наименование предприятия и задачу проекта;
- перечень производств, цехов, агрегатов, установок, охватываемых проектом систем автоматизации, с указанием для каждого особых условий при их наличии (например, класс взрыво- и пожароопасности помещений, наличие агрессивной, влажной, сырой, запыленной окружающей среды и т.д.);
- требования к разработке вариантов технического проекта;
- планируемый уровень капитальных затрат на автоматизацию и примерных затрат на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и проектирование;
- предложения по централизации управления технологическими процессами и структуре управления объектом, по объему и уровню автоматизации;
- предложения по размещению центральных и местных пунктов управления, щитов и пультов (диспетчерских, цеховых, агрегатных и др.);
- особые условия проектирования.

Для выполнения проектов систем автоматизации должны представляться следующие исходные данные и материалы:

- технологические схемы с характеристиками оборудования, с трубопроводными коммуникациями и указанием действительных внутренних диаметров, толщин стенок и материалов труб;
- перечни контролируемых и регулируемых параметров с необходимыми требованиями и характеристиками;

- чертежи производственных помещений с расположением технологического оборудования и трубопроводных коммуникаций, с указанием рекомендуемых мест расположения щитов и пультов (планы и разрезы);

- чертежи технологического оборудования, на котором предусматривается установка приборов и средств автоматизации, перечень и характеристика поставляемых комплектно с оборудованием приборов, средств автоматизации и систем управления, чертежи комплектно поставляемых щитов, пультов и т.д.

- строительные чертежи помещений для установки и размещения технических средств систем автоматизации;

- схемы управления электродвигателями, типы пусковой аппаратуры и станций управления для использования при проектировании автоматизации;

- схемы водоснабжения с указанием диаметров труб, расхода, давления и температуры воды;

- схемы воздухообеспечения с указанием давления, температуры, влажности и запыленности воздуха, наличия устройств очистки и осушки воздуха;

- данные, необходимые для расчета регулирующих органов, сужающих устройств и заполнения опросных листов;

- требования к надежности систем автоматизации;

- результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, содержащие рекомендации по проектированию систем и средств автоматизации; результаты научно-исследовательских работ должны содержать математическое описание динамических свойств объекта управления. Если эти математические зависимости неизвестны, то в задании на проектирование должны приводиться экспериментальные временные или частотные характеристики, снятые на опытных или аналогичных действующих установках, графически отражающие динамические свойства объекта по каждому из каналов управления.

Для АСУТП в составе технического задания на проектирование должны приводиться данные предпроектных разработок, определяющих основные принципы построения АСУТП:

- иерархию АСУ, ее структуру и функции, алгоритмы и т.п.;

- техническая документация по типовым проектам и проектным решениям;

- дополнительные данные и материалы, которые могут потребоваться исполнителю в процессе проектирования.

1.3. Стадии проектирования, состав и содержание работ при создании систем автоматизации

Стадия «Технико-экономическое обоснование автоматизации» выполняется во время планирования всего жизненного цикла продукции (рис. 1.1). Во время разработки выполняются стадии «Техническое задание», «Техниче-

ский проект» и «Рабочий проект». Циклу создания соответствует стадия «Внедрение (ввод в действие) АСУТП». Во время эксплуатации происходит штатное использование и ремонты различной сложности и объема.

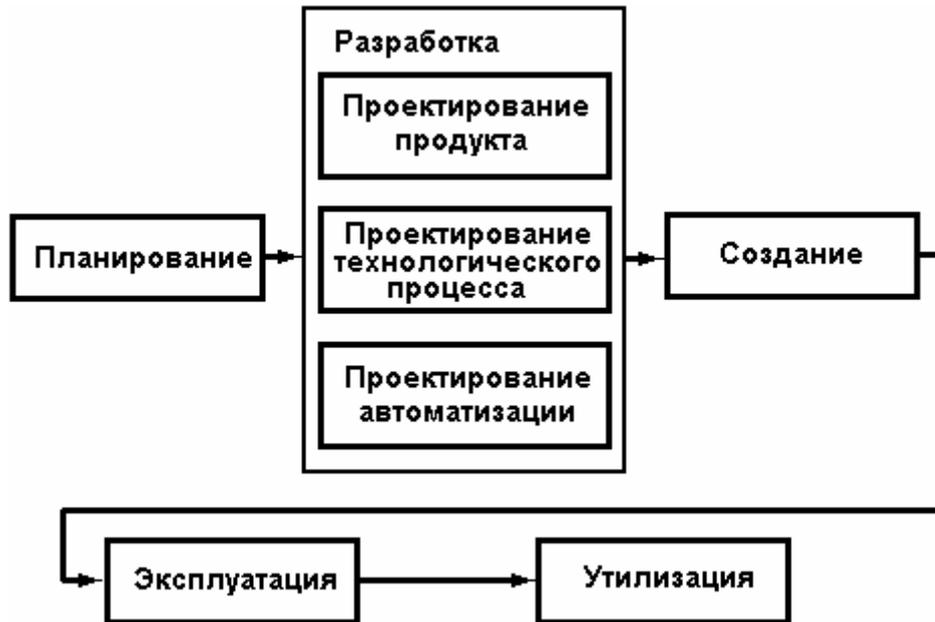


Рис. 1.1. Жизненный цикл продукции

Наибольшее распространение получило одностадийное проектирование систем автоматизации (технорабочий проект) как отвечающее требованиям разработки систем локальной и комплексной автоматизации технологических процессов.

На стадии технорабочего проекта состав документации следующий:

1. Функциональные схемы автоматизации технологических процессов.
2. Структурные схемы комплекса технических средств (КТС) АСУТП.
3. Принципиальные электрические (гидравлические, пневматические) схемы контроля, автоматического регулирования, управления, сигнализации и питания технических средств.
4. Общие виды (сборочные чертежи) щитов, пультов и т.п.
5. Схемы внутренних соединений щитов, пультов.
6. Схемы внешних электрических и трубных проводок.
7. Кроссовые ведомости (таблицы подключений).
8. Планы расположения средств автоматизации, электрических и трубных проводок.
9. Нетиповые чертежи установки средств автоматизации.
10. Чертежи нестандартного оборудования.

Текстовые материалы технорабочего проекта состоят из таких материалов:

1. Пояснительная записка с общими сведениями к проекту, краткой ха-

рактической характеристикой автоматизируемого объекта, обоснованиями принятых решений по выбору средств автоматического контроля, регулирования и управления, а также применения несерийной аппаратуры и оборудования.

2. Технические требования на конструирование новых приборов и аппаратуры (при необходимости).

3. Расчеты регулирующих и дроссельных органов;

4. Спецификация приборов и средств автоматизации электроаппаратуры, трубопроводной арматуры, щитов и пультов, основных монтажных материалов и изделий, нестандартизированного оборудования.

5. Смета на приобретение и монтаж технических средств систем автоматизации.

Все графические материалы, входящие в состав проектной документации систем автоматизации технологических процессов, выполняются согласно действующим стандартам, обеспечивающим единообразие проектной документации и облегчающим ее чтение и использование при проведении монтажных работ и в процессе эксплуатации системы.

1.4. Виды и типы схем

При разработке автоматических систем управления применяют различные приборы и средства автоматизации, соединяемые с объектом управления между собой по определенным схемам. В зависимости от используемых приборов и средств автоматизации (электрических, пневматических, гидравлических) и линейной связи в проектах автоматизации разрабатывают схемы, которые различаются по *видам* и *типам*.

По *видам* схемы подразделяются на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

Наибольшее распространение в практике автоматизации технологических процессов получили электрические приборы и средства автоматизации, что объясняется высокими метрологическими характеристиками и большим разнообразием имеющейся аппаратуры и приборов и наличием на объектах источников электропитания требуемой мощности и напряжения. В связи с этим наиболее широкое распространение получили электрические схемы. В условиях взрывоопасных производств, возможно применение пневматических приборов, что обуславливает необходимость выполнения различных пневматических схем. Следует отметить, по причине принципиальных недостатков пневмосистем (низкая точность, инерционность, громоздкость и т.д.) пневматические приборы отступили перед электрическими приборами в специальном (взрывобезопасном) исполнении и в настоящее время используются лишь как исполнительные устройства. Из-за громоздкости гидравлической аппаратуры и трудностей передачи гидравлических командных импульсов на большие расстояния гидравлические схемы получили небольшое распространение.

В ряде случаев в проектах встречаются комбинированные электроп-

невматические, электропневмогидравлические, пневмогидравлические и электрогидравлические схемы.

По *типам* схемы автоматизации подразделяются на:

- структурные, отражающие укрупненную структуру системы управления и взаимосвязи между пунктами контроля и управления объектом и отдельными должностными лицами;
- функциональные, отражающие функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса и определяющие оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации;
- принципиальные, определяющие полный состав элементов, модулей, вспомогательной аппаратуры и связей между ними, входящих в отдельный узел автоматизации и дающие детальное представление о принципе его работы. На основании принципиальных схем разрабатывают схемы внешних соединений электрических и трубных проводок, общих видов и монтажных схем щитов и пультов автоматизации;
- монтажные, показывающие соединение электрических и трубных проводок в пределах комплектных устройств (щитов, пультов, стивов и т.п.), а также места их присоединения и ввода (сборки коммутационных зажимов, штепсельные разъемы, переборочные соединения для трубных проводок и т.п.);
- соединений, показывающие внешние электрические и трубные связи между измерительными устройствами и средствами получения первичной информации, с одной стороны, щитами и пультами автоматизации – с другой. На схеме соединений показывают также вспомогательные элементы (фитинги, проходные и соединительные коробки и т.п.) и в необходимых случаях шкафы силового электрооборудования.

Схемы автоматизации, как правило, выполняют без соблюдения масштаба. В монтажных схемах соблюдается действительное пространственное расположение отдельных средств автоматизации и монтажных изделий.

1.5. Типовые монтажные чертежи

Монтаж приборов и средств автоматизации выполняют, как правило, по типовым чертежам, в которых указаны типы и основные параметры (размеры) узлов и изделий, сортамент применяемых материалов, конструкция узлов и деталей, способ установки приборов и средств автоматизации, общие технические требования и т.п.

Типовые чертежи подразделяются на: типовые монтажные, типовых конструкций, закладных конструкций.

Типовые чертежи в состав проекта автоматизации не входят. К проекту прикладывают только перечень типовых чертежей, в который включаются все используемые в проекте монтажные чертежи и чертежи типовых конструкций. Чертежи закладных конструкций в перечень не включают, так как

они являются промежуточными чертежами и передаются генпроектировщику или заказчику в процессе проектирования для учета требований проекта автоматизации при изготовлении технологического оборудования и проведения строительных работ.

1.6. Нетиповые чертежи установки приборов и средств автоматизации и общие виды нестандартизированного оборудования

Нетиповые чертежи установки приборов и средств автоматизации разрабатываются в тех случаях, когда невозможно применить типовые чертежи или чертежи повторного использования. Нетиповые чертежи разрабатываются аналогично типовым чертежам как по виду, так и по содержанию.

В некоторых проектах автоматизации возникает необходимость использовать нестандартизированное оборудование. В этом случае в состав проекта автоматизации включается только чертеж общего вида нестандартизированного оборудования. Чертеж общего вида должен содержать изображение изделия с его видами, разрезами, сечениями, надписи и пояснения, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его основных составных частей и принципа работы изделия, а также данные о составе изделия.

Рабочие чертежи нестандартизированного оборудования в состав проектов автоматизации технологических процессов не входят. Они выполняются проектно-конструкторскими организациями заводов – изготовителей нестандартизированного оборудования или другими проектно-конструкторскими организациями по отдельному договору.

Контрольные вопросы

1. Назовите стандарты, определяющие состав, объем и содержание проектов автоматизации.
2. Кем составляется задание на проектирование систем автоматизации технологических процессов и какие материалы оно содержит?
3. Какие исходные данные и материалы представляются для выполнения проектов систем автоматизации?
4. Назовите стадии проектирования, состав и содержание работ при создании систем автоматизации.
5. Какой состав проектной документации по автоматизации на стадии технорабочего проекта?
6. Назовите виды схем проектов автоматизации.
7. Какие типы схем проектов автоматизации вам известны?

2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

2.1. Изображение технологического оборудования и коммуникаций

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображают упрощенно (без масштаба и второстепенных деталей), но, как правило, в соответствии с действительной конфигурацией. Коммуникации, органы управления, средства измерения и автоматизации показывают схематически условными обозначениями. Технологическое оборудование и коммуникации должны показывать взаимное расположение и взаимодействие со средствами измерения и автоматизации.

Элементы и детали, расположенные внутри объекта автоматизации, изображают на функциональной схеме только в том случае, если они соединяются или взаимодействуют со средствами измерения и автоматизации. Трубопроводы показывают в соответствии с технологической схемой или только те части, где они взаимодействуют или соединяются со средствами измерения и автоматизации. Рядом с трубопроводами показывают стрелками направление потока среды в соответствии с технологической схемой.

Применительно к теплоэнергетическим установкам функциональные схемы составляются для: котлов; турбоагрегатов; вспомогательного оборудования машинного зала (подогревателей, деаэраторов, питательных и других насосов и т.п.), вместе для всего оборудования или отдельно; химической водоочистки; других частей установки, оборудуемых отдельными оперативными постами управления с элементами устройств автоматизации.

Функциональные схемы для сложных агрегатов, в частности для котлов большой паропроизводительности, обычно составляют отдельно: для устройств автоматического регулирования и дистанционного управления и для устройств теплотехнического контроля и технологической сигнализации. Устройства автоматического управления и технологической защиты отражаются в одной из этих схем или на самостоятельных схемах.

В некоторых случаях оборудование показывают отраслевыми условными изображениями, если имеется принятая система условных изображений, как, например, в теплоэнергетике, электротехнике и других отраслях.

Однородные трубопроводы, например продуктовые и водяные, которые различаются по роду протекающего продукта или параметрами среды (холодная, горячая вода и т.п.), должны обозначаться однотипно согласно стандартам.

На схемах автоматизации изображают те заслонки, вентили, клапаны и прочие регулирующие и запорные органы, которые участвуют в системе контроля и управления процессами или имеют принципиальное значение для автоматизации. На всех коммуникациях в соответствующих точках указывают места установки запорных органов ручного управления. Исполнительные ме-

ханизмы и рабочие органы автоматических устройств (регулирующие и электромагнитные клапаны, краны, шиберы, заслонки и т.п.) также указывают в соответствующих местах.

Приемные устройства (датчики) обозначают непосредственно на техническом объекте или соответствующих коммуникациях. На технологических коммуникациях изображают запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений.

В отдельных случаях некоторые части технологического объекта можно изображать на схеме в виде прямоугольников с указанием только наименований этих элементов.

На схемах автоматизации допускается вообще не показывать технологическое оборудование. Однако около датчиков, отборных, приемных и других подобных устройств следует указывать наименование того технологического оборудования, к которому они относятся.

Технологические коммуникации и трубопроводы для газа и жидкости изображают в соответствии с действующим стандартом при их однолинейном изображении (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Условные цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов по ГОСТ 2.784-70

Наименование среды, транспортируемой трубопроводом	Обозначение	Цвет
1	2	3
Среда, преобладающая в данном проекте	Сплошная линия	Красный, черный
Вода	—1—1—	Зеленый
Пар	—2—2—	Розовый
Воздух	—3—3—	Голубой
Азот	—4—4—	Темно-желтый
Кислород	—5—5—	Синий
Инертные газы: аргон	—6—6—	—
неон	—7—7—	—
гелий	—8—8—	Фиолетовый
криптон	—9—9—	—
ксенон	—10—10—	—
Аммиак	—11—11—	Серый
Кислота (окислитель)	—12—12—	Оливковый
Щелочь	—13—13—	Серо-коричневый
Масло	—14—14—	Коричневый

Продолжение табл.2.1

1	2	3
Жидкое горючее	—15—15—	—
Горючие и взрывоопасные газы: водород	—16—16—	—
ацетилен	—17—17—	Желтый
фреон	—18—18—	—
метан	—19—19—	—
этан	—20—20—	—
этилен	—21—21—	—
пропан	—22—22—	Оранжевый
пропилен	—23—23—	—
бутан	—24—24—	—
бутилен	—25—25—	—
Противопожарный трубопровод	—26—26—	Красный
Вакуум	—27—27—	Светло-серый
Другие среды, начиная	—28—28—	—

Для более детального указания характера среды к цифровому обозначению может быть добавлен буквенный индекс, например: вода чистая – 1ч, пар перегретый – 2п, пар насыщенный – 2н и т.п.

Если та или иная жидкость либо газ преобладают в данной схеме, то линию связи, транспортирующую это вещество, символом среды не обозначают. Иногда в проектах среду указывают на линии связи словами «Вода», «Пар» и т.д.

На технологических трубопроводах изображают только основную регулируемую и запорную арматуру, которая относится к работе и обслуживанию системы автоматизации и которая необходима для определения относительного расположения отборных устройств и средств получения информации. Трубопроводы, входящие или выходящие из объекта автоматизации, на схеме обрывают и заканчивают стрелкой, показывающей направление потока, и надписью: «К деаэратору», «От котла» и т.д.

Для придания большей наглядности и выразительности контуры оборудования вычерчивают тонкими линиями (до 0,5 мм), а коммуникации – более толстыми (до 1 ÷ 2 мм).

На линиях пересечения трубопроводов, изображающих их соединение, ставят точку. Отсутствие точки означает отсутствие соединения трубопроводов. Знак обвода (в виде полуокружности) не применяют.

2.2. Функциональные схемы автоматизации

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. Функциональные схемы автоматизации разъясняют процессы, протекающие в системе, определяют уровень автоматизации, организацию пунктов контроля, управления и защиты, оснащение средствами сбора, обработки и передачи информации и др.) [1].

Приборы и средства автоматизации, вмонтированные в технологическое оборудование и коммуникации или механически с ними связанные, изображают на схемах автоматизации в непосредственной близости к технологическому оборудованию. К ним относятся: отборные устройства; приборы измерения давления, уровня, состава вещества; приемные устройства, воспринимающие воздействие измеряемых и регулируемых величин (суживающие устройства, ротаметры, термометры сопротивления, термопары и т.п.); исполнительные устройства, регулирующие и запорные органы.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, также энергии, сырья и других материалов, определяемых технологией производства. На функциональной схеме условными обозначениями показывают технологическое оборудование, коммутации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и средствами автоматизации.

При проектировании схем автоматизации учитывают современные требования к автоматизации технологического процесса; условия пожаро- и взрывоопасности; агрессивность и токсичность окружающей среды; параметры и физико-химические свойства измеряемой среды; расстояние от мест установки датчиков, вспомогательных устройств, исполнительных механизмов, приводов машин и запорных органов до пунктов управления и контроля; требуемую точность и быстродействие средств автоматизации.

Систему автоматизации следует проектировать на базе серийно выпускаемых средств автоматизации и вычислительной техники; необходимо применять **однотипные** средства автоматизации и унифицированные системы, характеризующиеся простотой сочетания отдельных блоков, их взаимозаменяемостью. Средства сбора и накопления первичной информации (датчики), вторичные приборы, регулирующие и исполнительные устройства должны соответствовать государственной системе приборов (ГСП).

Средства автоматизации, использующие вспомогательную энергию (электрическую, пневматическую и гидравлическую), выбирают, руководствуясь условиями пожаро- и взрывобезопасности автоматизируемого объекта, агрессивности окружающей среды, быстродействием, дальностью по-

дачи сигнала информации и управления и т.п. Количество приборов, аппаратуры управления и сигнализации, устанавливаемой на щитах и пультах, должно быть ограничено. Приборы и средства автоматизации вспомогательного назначения целесообразнее размещать на отдельных щитах в производственных помещениях вблизи технологического оборудования.

В связи с развитием автоматизированных систем управления возникает необходимость передачи информации о ходе технологического процесса в автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП) и автоматизированные системы управления предприятием (АСУП), поэтому на схеме автоматизации необходимо показать средства передачи информации в эти системы.

Схема автоматизации служит основанием для разработки других чертежей проекта. Условное изображение элементов на схемах автоматизации должно соответствовать действующим стандартам.

При составлении функциональных схем автоматизации необходимо учитывать:

- уровень (объем) автоматизации технологического процесса;
- технологические параметры, подлежащие автоматическому регулированию и контролю, пределы их измерений и выбор метода измерения;
- автоматическое или дистанционное управление технологическим оборудованием (приведением механизмов, рабочих органов и т.п.);
- автоматическую защиту и блокировку технологических агрегатов и установок;
- выбор основных технических средств автоматизации;
- размещение приборов и аппаратуры на щитах и пультах управления.

Функциональная схема автоматизации технологического объекта или процесса содержит:

- упрощенное изображение объекта управления, группы объектов или полностью технологического процесса, подлежащих автоматизации; все объекты показывают с принадлежащими им коммуникациями, на которых должны быть изображены основные рабочие органы (клапаны, краны, заслонки, шиберы и т.п.); трубопроводы жидкости, пара, газа при однолинейном исполнении изображают условными обозначениями;
- обозначения мест установки датчиков автоматических устройств для отбора управляющих воздействий;
- обозначения мест установки регулирующих и запорных рабочих органов автоматических устройств;
- обозначения технических средств управления автоматического и операторного управления, принятых для управления отдельными объектами и процессом в целом, с указанием их расположения по месту (на объектах или коммуникациях) и на щитах и пультах управления;
- функциональные цепи – линии связи, как между отдельными элементами автоматического устройства (комплекса), так и между комплексами

автоматических устройств, объединенных общей цепью управления.

В левой части каждого прямоугольника располагают надпись, характеризующую назначение: «Приборы местные», «Щит управления» и «Пульт управления», «Стойка преобразователей» и т.д.

В прямоугольнике «Приборы местные» указывают все нещитовые приборы (манометры, вакуумметры, дифманометры, емкостные электронные и поплавковые сигнализаторы уровня и т.п.), которые по своей конструкции или специальным требованиям располагаются непосредственно на объектах или их коммуникациях. Вспомогательную аппаратуру и устройства (источники питания, фильтры и редукторы пневмопитания, предохранители и т.п.), а также датчики и исполнительные механизмы со своими рабочими органами, вмонтированные непосредственно в технологические объекты или коммуникации, в прямоугольнике «Приборы местные» не указывают. Исключения составляют магнитные пускатели, используемые в контурах регулирования для управления исполнительными устройствами.

Приборы и средства автоматизации изображают в соответствии с требованиями выполнения конструкторской документации.

К приборам и средствам автоматизации относят большую группу устройств, с помощью которых выполняют измерение, регулирование, управление и сигнализацию технологических процессов различных производств. Приборы и средства автоматизации подразделяют на измерительные и преобразующие приборы, регуляторы, вспомогательные устройства, регулирующие органы и исполнительные механизмы.

Измерительные приборы могут иметь различное функциональное назначение. Они могут быть показывающими, регистрирующими, самопишущими, печатающими, интегрирующими и т.п., иногда со встроенными различными регулирующими, преобразующими и сигнализирующими устройствами.

2.2.1. Условные обозначения и графические символы отечественного стандарта ГОСТ 21.404-85 (21.408-93)

Изображение приборов и средств автоматизации основывается на функциональных признаках, выполняемых приборами в соответствии с табл. 2.2 – 2.4.

Независимо от применяемого стандарта методика построения графических условных обозначений на схемах автоматизации является общей для упрощенного и развернутого способов.

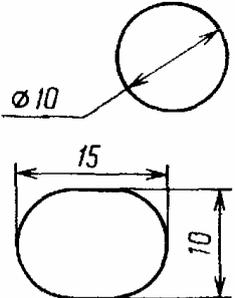
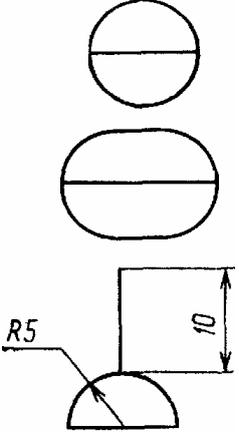
В верхней части окружности наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора.

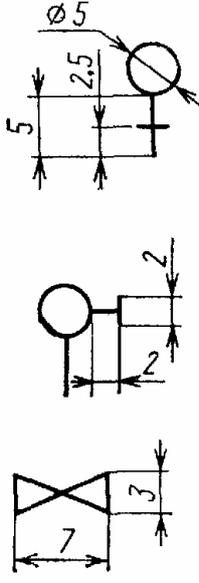
В нижней части окружности указывают позиционное обозначение (цифровое или буквенно-цифровое), служащее для нумерации комплекта измерения или регулирования (при упрощенном способе построения условных обозначений) или отдельных элементов комплекта (при развернутом способе

построения условных обозначений).

Таблица 2.2

Основные условные обозначения приборов и средств автоматизации
по ГОСТ 21.404-85 (21.408-93)

Наименование	Обозначение
1	2
<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент), прибор, устанавливаемый по месту на технологическом трубопроводе, аппарате, стене, полу, колонне, металлоконструкции:</p> <p>основное обозначение</p> <p>допустимое обозначение</p>	
<p>Прибор, устанавливаемый на щите, пульте:</p> <p>основное обозначение</p> <p>допустимое обозначение</p> <p>Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т.п.)</p>	

1	2
<p>Исполнительный механизм (общее обозначение). Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется</p> <p>Исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала</p> <p>Исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала</p>	
<p>Исполнительный механизм, оставляющий регулирующий орган в неизменном положении при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала</p> <p>Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала)</p> <p>Регулирующий орган</p> <p>Линии связи</p>	
Пересечение линий без соединения друг с другом	
Пересечение линий связи с соединением между собой	

Буквенные условные обозначения по ГОСТ 21.404-85 (21.408-93)

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые приборами		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
<i>A</i>	–	–	Сигнализация	–	–
<i>B</i>	–	–	–	–	–
<i>C</i>	–	–	–	Регулирование, управление	
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	–	–	–
<i>E</i>	Любая электрическая величина	–	–	–	–
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
<i>G</i>	Размер, положение, перемещение	–	–	–	–
<i>H</i>	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	–	–	Показание	–	–
<i>J</i>	–	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
<i>K</i>	Время, временная программа	–	–	–	–

Продолжение табл. 2 .3

1	2	3	4	5	6
<i>L</i>	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	–	–	–	–
<i>N</i>	Резервная буква	–	–	–	–
<i>O</i>	То же	–	–	–	–
<i>P</i>	Давление, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество, состав, концентрацию и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	–	–	–
<i>R</i>	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
<i>S</i>	Скорость, частота	–	–	–	–
<i>T</i>	Температура	–	–	–	–
<i>U</i>	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
<i>V</i>	Вязкость	–	–	–	–
<i>W</i>	Масса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	–	–	–	–

Таблица 2.4

Дополнительные буквенные обозначения, отражающие функциональные признаки приборов по ГОСТ 21.404–85

Наименование	Обозначение
1	2
Чувствительный элемент (первичное преобразование)	<i>E</i>
Дистанционная передача (промежуточное преобразование)	<i>T</i>
Станция управления	<i>K</i>
Преобразование, вычислительные функции	<i>Y</i>
Род сигнала:	
электрический	<i>E</i>
пневматический	<i>P</i>
гидравлический	<i>G</i>
Виды сигнала:	
аналоговый	<i>A</i>
дискретный	<i>D</i>
Операции, выполняемые вычислительным устройством:	
суммирование	Σ
умножение сигнала на постоянный коэффициент <i>K</i>	<i>K</i>
перемножение двух и более сигналов друг на друга	\times
деление сигналов друг на друга	$:$
возведение величины сигнала <i>f</i> в степень <i>n</i>	f^n
извлечение из величины сигнала <i>f</i> корня степени <i>n</i>	$\sqrt[n]{f}$
логарифмирование	\lg
дифференцирование	dx/dt
интегрирование	\int
изменение знака сигнала	$x(-1)$
ограничение верхнего значения сигнала	max
ограничение нижнего значения сигнала	min
Связь с вычислительным комплексом:	
передача сигнала на ЭВМ	b_i
ввод информации с ЭВМ	b_o

Порядок расположения буквенных обозначений в верхней части (слева направо) следующий: основная измеряемая величина, обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину; функциональный признак на приборе. Функциональные признаки также располагают в определенном порядке. Указывают только те функциональные признаки, ко-

торые используют в данной системе. Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления приведен на рис. 2.1.

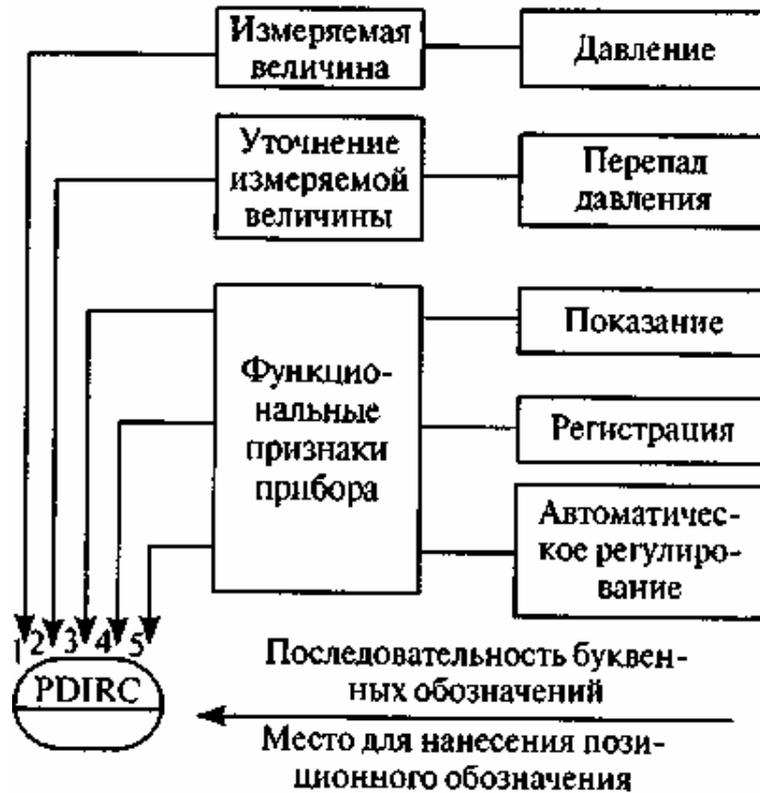


Рис. 2.1. Условное изображение прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления

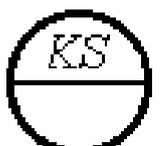
В некоторых случаях для обозначения первичных преобразователей и приборов, позиционные обозначения которых состоят из большого числа знаков, применяют графические обозначения в виде эллипса. При составлении схем автоматизации с использованием условных обозначений по ГОСТ 21.404–85 можно воспользоваться табл. 2.5.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, могут быть использованы резервные буквы. При этом многократно применяемые величины следует обозначать одной и той же резервной буквой. Для одноразового или редкого применения можно использовать букву X. Если применяют резервные буквы, то на схеме их необходимо расшифровать. Не допускается в одной и той же документации применение одной резервной буквы для обозначения разных величин. Условные обозначения с применением дополнительных букв составляют следующим образом: на первом месте ставят букву, обозначающую измеряемую величину; на втором – одну из букв, уточняющих величину: E; D; K; Y.

Примеры построения условных обозначений по ГОСТ 21.404–85

Буквенное условное обозначение	Характер прибора	Обозначения
1	2	3
<i>A</i> (сигнализация)	<p>Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите (кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т. д.)</p> <p>Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту (например, устройство электронно-тензометрическое или сигнализирующее).</p> <p>Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите (вторичный показывающий прибор с сигнальным устройством). Буквы <i>H</i> и <i>L</i> обозначают сигнализацию верхнего и нижнего уровней</p>	  
<i>E</i> (первичное преобразование)	<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту (термометр термоэлектрический, термометр сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра).</p> <p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту (диафрагма, сопло, труба Вентури, датчик индукционного расходомера).</p> <p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту (например, датчик электрического или емкостного уровнемера)</p>	  

1	2	3
<p><i>Q</i> (справа от изображения прибора указать наименование или символ измеряемой величины)</p>	<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту (например, датчик рН-метра).</p> <p>Прибор для регулирования и 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, вторичный самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе).</p>	<p><i>pH</i></p>   
<p><i>U</i> (измерение разнородных величин)</p>	<p>Прибор для измерения нескольких разнородных регистрирующих величин, установленный по месту (например, самопишущий дифманометр-расходомер с дополнительной записью давления и температуры пара).</p> <p>Буква может быть использована для обозначения прибора, измеряющего несколько разнородных величин</p>	<p>$F=f(F,P,T)$</p> 
<p><i>T</i> (дистанционная передача сигнала)</p>	<p>Прибор для измерения температуры шкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (термометр манометрический бесшкальный с пневмо- или электропередачей)</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 расхода бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту (например, бесшкальный дифманометр или ротаметр с пневмо- или электропередачей)</p> <p>Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту</p>	   

1	2	3
<p><i>K</i> (приборы с переключателем вида управления – дистанционного или ручного)</p>	<p>Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите (вторичный прибор и регистрирующий блок)</p> <p>Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите (командный электропневматический прибор, многоцепное реле времени и др.)</p>	 
<p><i>Y</i> (преобразование сигнала)</p>	<p>Преобразователь сигнала, установленный на щите (входной и выходной электрические сигналы) (например, преобразователь измерительный, служащий для преобразования ТЭДС 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 на постоянный коэффициент <i>K</i></p>	<p><i>E/E</i></p>  <p><i>P/E</i></p>  <p><i>K</i></p> 
<p><i>H</i> (устройства для ручных операций)</p>	<p>Аппаратура для ручного дистанционного управления, установленная на щите (кнопка, ключ управления, задатчик)</p>	
	<p>Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите</p>	
	<p>Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите</p>	

Например, первичные измерительные преобразователи температуры (термометры термоэлектрические, термометры сопротивления и др.) обозначают *TE*, первичные измерительные преобразователи расхода (сужающие

устройства расходомеров, датчики индукционных расходомеров) – *FE*, бесшкальные манометры с дистанционной передачей показаний – *PT*, бесшкальные расходомеры с дистанционной передачей – *FT*.

Первая буква в обозначении каждого прибора, входящего в комплект средств автоматизации, – это наименование измеряемой комплектом величины. Например, для измерения и регулирования температуры первичный измерительный преобразователь следует обозначать *TE*, вторичный регистрирующий прибор – *TK*, регулирующий блок – *ТС*.

Запорную и регуливающую арматуру (задвижки, заслонки, шиберы), применяемую в системах автоматизации и заказываемую по технической части проекта, изображают в соответствии с действующими стандартами. Подвод линий связи к символу прибора допускается изображать в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку).

Если необходимо показать передачу сигнала, на линии связи можно нанести стрелки. Условные или графические обозначения выполняют линиями толщиной 0,5 ÷ 0,6 мм, а горизонтальную разделительную черту внутри обозначения и линии связи – толщиной 0,2 ÷ 0,3 мм.

Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на схемах автоматизации, присваивают позиционные обозначения (позиции), сохраняющиеся во всех материалах проекта.

Позиционное обозначение – условное обозначение каждого элемента или устройства, входящего в состав изделия. Оно содержит информацию о виде элемента (устройства), его порядковый номер среди элементов (устройств) данного вида и при необходимости указание функции, выполняемой данным элементом (устройством) в изделии.

Каждому комплекту средств автоматизации присваивают порядковый номер. Комплектом считают функционально связанные устройства, выполняющие определенную задачу. Каждому элементу комплекта дают цифроцифровое обозначение (позицию), состоящее из порядкового номера и цифрового индекса. Позиции приборам и средствам автоматизации на функциональных схемах присваивают в последовательности прохождения сигнала, начиная от отборных и приемных устройств и кончая исполнительными механизмами, включая все элементы данной цепи, изображенные на схеме.

Например, комплекту присваивают порядковый номер 7, отдельным элементам и устройствам (за исключением электроаппаратуры управления и сигнализации), соединенным линиями связи и входящим в измерительный, регулирующий или управляющий комплект (приемным устройствам, датчикам, преобразователям, вторичным измерительным приборам, регулирующим устройствам, исполнительным механизмам, регулирующим органам и т.п.), дополнительно присваивают индекс из букв русского алфавита или цифр, например: 7-1, 7-2, 7-3 и т.д.

Отборные устройства, являющиеся готовыми изделиями (газоотборное устройство газоанализатора, отборное устройство с разделительной мембраной для измерения давления вязкой среды и т. д.), получают первый номер

комплекта, в который они входят, например 3-1.

Бобышкам, кранам для установки термометров, отборным устройствам и другим аналогичным приспособлениям, входящим в комплекты технологического оборудования и трубопроводов, или монтажно-установочным приспособлениям, изготовляемым при монтаже, позиционные обозначения не присваивают.

Позиционные обозначения для всех схем автоматизации проекта должны соответствовать спецификации. Она является исходным материалом для составления заявочной ведомости и заказной спецификации. В спецификацию включают все устройства с позиционными обозначениями. Позиционные обозначения в схемах автоматизации проставляют в нижней части окружности, обозначающей прибор, или рядом с условными графическими обозначениями приборов и средств автоматизации с правой стороны или над ними.

Функциональную схему автоматизации (ФСА) выполняют в виде чертежа, на котором схематически условными обозначениями показывают технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации; технологическое оборудование и средства автоматизации соединены линиями связи.

Схемы оформляются развернутым способом, т.е. щиты и пульты управления изображают в виде прямоугольника (в верхней или нижней части чертежа), в котором показывают аппаратуру контроля, регулирования, сигнализации и управления. Показывают все приборы и средства автоматизации проектируемого узла и месторасположение аппаратуры.

При большом объеме автоматизации технологического процесса схемы автоматизации выполняют раздельно (отдельно автоматическое управление, отдельно контроль и сигнализация и т.п.).

При наличии однотипных технологических объектов (цехов, отделений, установок, агрегатов, аппаратов), не связанных между собой и одинаково оснащенных приборами и средствами автоматизации, схему автоматизации выполняют для одного из них, при этом на чертеже делается пояснение, например: «Схема составлена для агрегата 1; для агрегатов 2 – 4 схемы аналогичны». Пояснения дают соответственно особенностям позиционных обозначений (маркировки) и спецификации, например: «В спецификации учтена аппаратура для четырех агрегатов. Маркировка приборов и средств автоматизации для агрегатов аналогична приведенной для агрегата 1 с изменением цифрового индекса соответственно номеру агрегата». На функциональной схеме автоматизации рекомендуется указать основные функции управляющего вычислительного комплекса (УВК), как, например, на рис. 2.2.

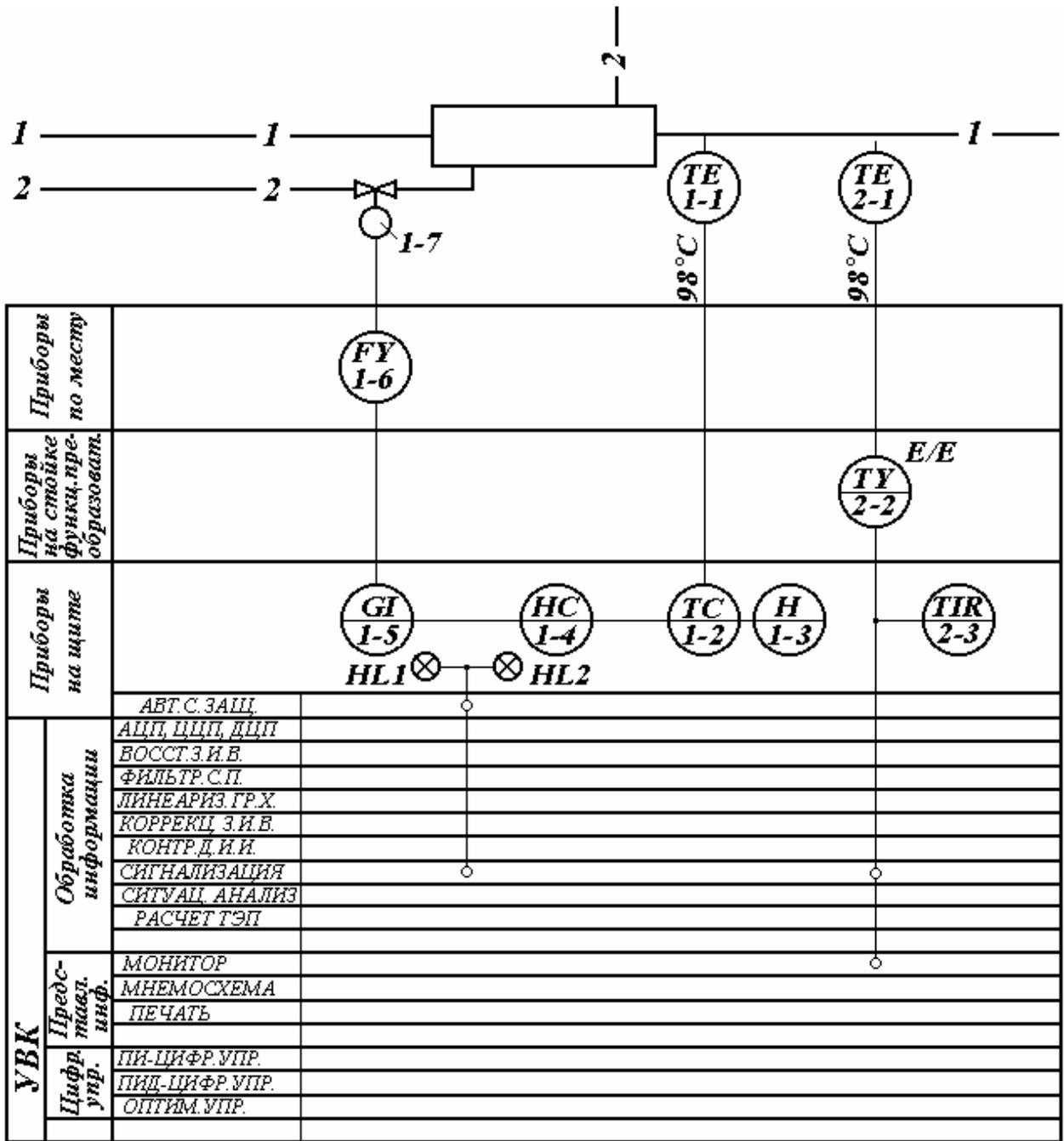


Рис. 2.2. Пример изображения функциональной схемы автоматизации

Для однотипных технологических объектов или их частей, имеющих щиты, пульты, стенды и т.п., с одинаковой аппаратурой приборы на схемах автоматизации с целью упрощения показывают только для одного объекта или его части, а на общих щитах или пультах – приборы и средства автоматизации для всех однотипных объектов. При этом около линий связи, соединяющих приборы и средства автоматизации с объектом, технологическое оборудование которого не показано, дают необходимые пояснения.

Следует выполнять экспликацию основного оборудования и возле каждого элемента технологической схемы делать надписи, определяющие наименование оборудования.

В прямоугольнике, отображающем УВК, наносят горизонтальные линии с надписями, обозначающими функции, выполняемые компьютером (рис. 2.2). К этой линии присоединяют линии от преобразователей и аппаратуры, подключаемых к машине. На линиях, соединяющих первичные преобразователи с прямоугольниками щитов, проставляют **рабочие значения** измеряемых величин, которые служат основанием для выбора диапазонов измерения приборов и измерительных преобразователей.

Линии связи на схеме автоматизации изображают одной линией независимо от числа проводов или труб и наносят с наименьшим количеством изломов и пересечений. Линии должны четко отображать функциональные связи между элементами схемы от начала до конца прохождения сигнала (воздействия). Допускается объединять в одну линию блокировочные линии связи.

В сложных схемах автоматизации допускается обрывать линии функциональных цепей, при этом каждый конец разорванной линии нумеруют одной и той же арабской цифрой. Номера линий связи располагают в горизонтальных рядах в возрастающем порядке.

Существующую механическую связь датчиков приборов, указывающих положения регулирующих органов, исполнительных устройств и т.п., обязательно показывают на схемах автоматизации.

Приборы (указатели) для однотипных измерений показывают один раз, при этом под позиционным обозначением прибора указывают число одинаковых приборов.

На первом листе чертежа схемы автоматизации над основной надписью располагают таблицу не предусмотренных стандартом условных обозначений, принятых в этой схеме. Сначала в таблицу заносят, располагая сверху вниз, условные обозначения трубопроводов. Стандартные обозначения в таблицу не включают. При необходимости таблицы нестандартных условных обозначений выполняют на отдельных листах формата А4; на поле чертежа помещают диаграммы, таблицы, тексты и надписи, поясняющие характер и последовательность работы устройств.

Схемы автоматизации графически оформляют линиями толщиной (мм): контуры технологического оборудования – $0,6 \div 1,5$; трубопроводные коммуникации – $0,6 \div 1,5$; приборы и средства автоматизации – $0,5 \div 0,6$; линии связи – $0,2 \div 0,3$; прямоугольники, изображающие приборы местные, щиты, пульты, – $0,6 \div 1,5$.

2.2.2. Условные обозначения и графические символы зарубежных проектно-технологических фирм и организаций

Активное привлечение опыта зарубежных фирм по проектированию и созданию систем автоматизации и предприятий в энергетике, химии и нефтехимии, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности

предполагает изучение международных стандартов в обозначении приборов и средств автоматизации в проектной документации.

Широко используемым и признанным в международной практике является стандарт США *ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992)* [15]. Условные обозначения по данному стандарту приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Условные обозначения по национальному стандарту США
ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992) [15]

Буква	Первая буква в обозначении		Вторая буква в обозначении		
	Измеренная или установленная переменная	Вариант (модификация)	Считываемая или пассивная функция	Выходная функция	Вариант (модификация)
1	2	3	4	5	6
A	Анализ		Тревога (аларм)		
B	Камера сгорания. Горение		Выбор пользователя	Выбор пользователя	Выбор пользователя
C				Контроль	
D	Выбор пользователя	Дифференциал (разность)			
E	Выбор пользователя		Сенсор. Чувствительный элемент.		
F	Расход	Соотношение			
G	Выбор пользователя		Стекло. Визуальное устройство.		
H	Ручное воздействие				Высокий
I	Ток (электрический)		Индикатор		
J	Мощность	Сканирование (обегание)			
K	Время. Временная программа.	Изменение во времени		Управляющая станция	
L	Уровень		Свет		Низкий
M	Выбор пользователя	Мгновенный			Средина. Промежуточное звено.
N	Выбор пользователя		Выбор пользователя	Выбор пользователя	Выбор пользователя
O	Выбор пользователя		Сопло. Насадка. Ограничение. Местное сопротивление.		
P	Давление. Вакуум.		Точки подключения и тестирования.		
Q	Количество	Суммирование. Общее количество			
R	Радиация		Запись		
S	Скорость. Частота.	Безопасность		Переключение	
T	Температура			Преобразование	

Продолжение табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
<i>U</i>	Несколько разнородных переменных		Многофункциональность	Многофункциональность	Многофункциональность
<i>V</i>	Вибрация. Механическая величина.			Вентиль. Демпфер. Тяга.	
<i>W</i>	Вес. Сила.		Источник		
<i>X</i>	Неклассифицировано	Ось X	Неклассифицировано	Неклассифицировано	Неклассифицировано
<i>Y</i>	Событие. Состояние. Положение.	Ось Y	Преобразователь	Переключатель. Вычисление.	
<i>Z</i>	Позиция. Размер. Величина. Объём.	Ось Z		Привод. Специальный конечный управляющий элемент.	

Некоторые символы таблицы 2.6 расширены практикой работы ведущих зарубежных проектно-технологических фирм и считаются общепризнанными:

C – символ управления, регулирования (на втором месте);

D – плотность или удельный вес (первая буква);

E – напряжение (первая буква);

G – измерение положения или размер (первая буква);

M – влагосодержание или влажность (первая буква);

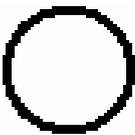
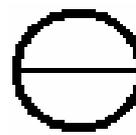
R – регистрация или распечатка (на втором месте);

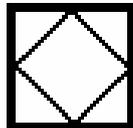
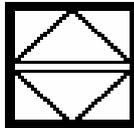
V – вязкость (первая буква); клапан, заслонка (последующие буквы).

Графические символы средств автоматизации представлены в таблице 2.7, дополненной условным изображением микропроцессорного контроллера. Изображения приводов и регулирующих органов показаны в таблице 2.8. Условные обозначения линий связи приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.7

Графические обозначения средств автоматизации по стандарту
ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992) [15]

Наименование устройства, функции	Место установки		
	Вне пульты (по месту)	Вспомогательный пульт управления (щит) Дополнительная панель	Центральный пульт управления (щит)
1	2	3	4
1. Устройства, встраиваемые в технологические коммуникации или установленные на технологическом оборудовании, или местных щитах (сенсоры, датчики, манометры и др.). Полевой прибор			

1	2	3	4
2. Система автоматического регулирования Информационные - управляющие параметры РСУ			
3. Контур ПАЗ Система логико-программного управления. Информационно-управляющие параметры, входящие параллельно и в РСУ, и в ПАЗ, параметры системы противоаварийной защиты	 Функция компьютера, недоступная оператору		 Функция компьютера, доступная оператору
4. Вычислительное устройство (выполнение вычислительных функций) Компьютер - контроллер			

Стандарт США *ANSI ISA S5.1-1984 (R1992)* (равно как и стандарт РФ, ГОСТ 21.404 – 85) в основных положениях ориентирован на локальную автоматику, ведущие проектно-технологические фирмы используют дополнительные обозначения. В таблице 2.10 приведены эти обозначения.

Таблица 2.8.

Изображения приводов и регулирующих органов
по стандарту *ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992)* [15]

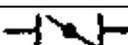
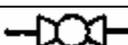
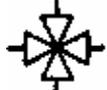
Регулирующий клапан		Отсекатель	
Электрозадвижка		Проходной вентиль, задвижка	
Заслонка		Шаровой клапан	
Угловой клапан		Трехходовой клапан	
Четырехходовой клапан			

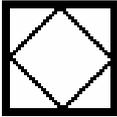
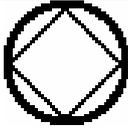
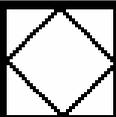
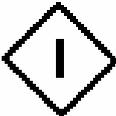
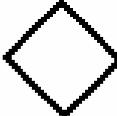
Таблица 2.9

Условные обозначения линий связи по стандарту
ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992) [15]

Связь с технологическим процессом	
Пневматический сигнал	
Электрический сигнал	
Внутрисистемная связь (программная, или передачи данных)	

Таблица 2.10

Сравнение условных обозначений на функциональных схемах АСУТП

Имеющие отношение к автоматической защите и логике	ANSI ISA-S5.1- 1984	ABB Lummus	PARSONS	Howe-Baker	ГОСТ 21.404- 85
Комплектный ПЛК: (ABB Lummus - vendor package PLC; PARSONS - packaged PLC)				Специально не выделяется	Не определено
Цифровое логическое управление, встроенное в DCS: (ABB Lummus - batch or sequential programmable logic; PARSONS - integral to DCS)	Отдельно не выделяется				Не определено
ПЛК системы противоаварийной защиты (ПАЗ)				  (TMR-Triple Redundancy)	Не определено
Недоступно оператору					Не определено
Неопределенная логическая функция или блокировка					Не определено

Условное обозначение (код) установки, отделения или узла выносится за пределы монтажно-технологической, функциональной, или экранной мнемосхемы, и указывается в атрибутах наименования или шифра схемы (рис. 2.3). Аналогично изображается код линии или системы. Количество символов каждого элемента кода определяется масштабом объекта автоматизации.

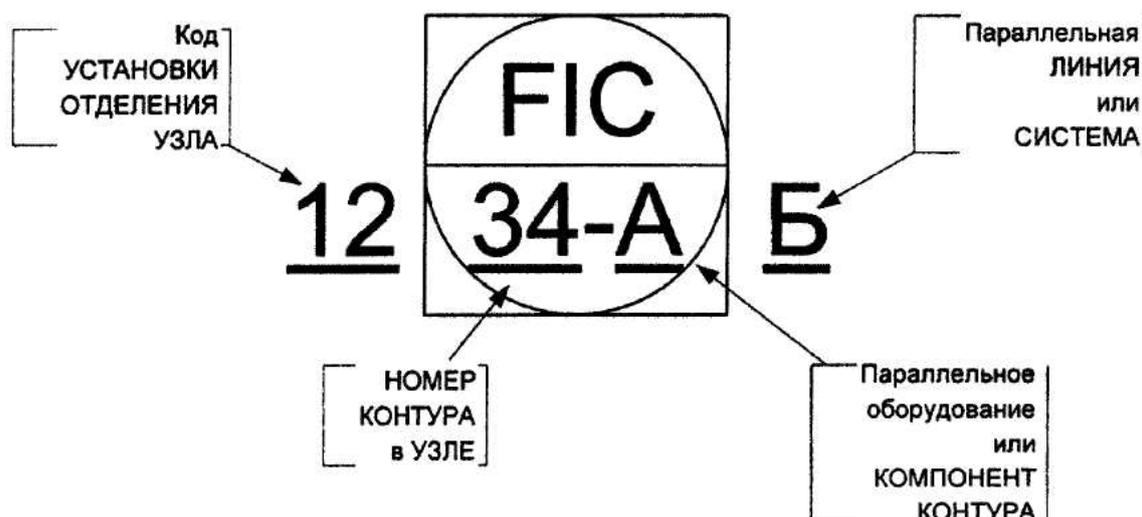


Рис. 2.3. Пример построения условного обозначения прибора для измерения и автоматического регулирования расхода

Возможно также сочетания ниже представленных способов нумерации.

Порядок написания букв в верхней части графического изображения не отличается от порядка, предусмотренного ГОСТ 21.404 – 85.

Нумерация контуров может быть сквозной (последовательной) для всего производства, либо его отдельных частей независимо от переменной, например, такой:

PSLL – 104; *TIA* – 105; *LI* – 106; *FIC* – 107.

При параллельной нумерации исходная последовательность номеров повторяется для каждой новой первой буквы кода:

FI – 100; *TI* – 100; *PI* – 100;
FIC – 101; *TIC* – 101; *PIC* – 101;
FIA – 102; *TIA* – 102; *PIA* – 102.

Может быть принята параллельно-сквозная нумерация:

Переменная	Группа	Номер серии
<i>F</i>	Расход	100
<i>L</i>	Уровень	200
<i>P</i>	Давление	300
<i>T</i>	Температура	400

Примеры комбинации букв:

ASHH – для блокировки загазованности;

AAHH – для сигнализации загазованности;

BSLL – блокировка погасания пламени;

BALL – сигнализация погасания пламени;

ES, ESW и *EHS* – для операций пуска и останова электродвигателя.

На компрессорах, как правило, устанавливается автономная система защиты, поэтому в общую систему ПАЗ (противоаварийной защиты) и соответственно в РСУ (распределенную систему управления) параметры типа “Осевое смещение” и “Вибрация” попадают только для контроля первопричины останова. Аналогично у насосов – установлены специализированные устройства блокировки насосов.

Буква *S* – символ отсекающего (*Speed*) *SSLL* и *SSH* – ограничение скорости турбины;

Букву *Z* обычно используют для обозначения концевых выключателей (клапанов, задвижек и т.д.)

Обычно буква *T* на втором месте присваивается измерительным преобразователям со стандартным выходом 4 – 20 мА (*transmitters*) *FT, LT, PT, TT*.

В контуры совместного действия, посылающие сигналы в РСУ и ПАЗ добавлена буква *S*, например, *LICS*.

Так как применение микропроцессорных контроллеров подразумевает и индикацию (*I*), и регистрацию (*R*), и сигнализацию (*A*) достаточно кодировать контур двумя символами: *FC, LC, PC, TC*.

ZSC/ZSO – обозначения концевых выключателей отсекающего или задвижки;

ZSC/ZSO – состояние отсекающего или задвижки в системе ПАЗ;

ZLC/ZLO – сигнализация состояния отсекающего и задвижки в РСУ;

HS – пуск насоса (*Hand-Switch*);

NS – состояние насоса;

NSS – останов насоса;

NSV – пуск насоса;

SV – код отсекающего;

ZSO – открыт отсекающий;

ZSC – закрыт отсекающий;

ZV – код задвижки;

ZSO – открыта задвижка;

ZSC – закрыта задвижка.

2.2.3. Чтение функциональных схем автоматизации зарубежных проектно-технологических фирм и организаций

На рис. 2.4 представлен процесс фильтрации потока вещества двумя фильтрами, установленными на параллельных технологических трубопроводах. К позициям 101А и 101В, изображенным в виде круга без поперечной

линии, подводятся импульсы «до» и «после» фильтров *F-101A* и *F-101B*. Окружность – символ полевого прибора (табл. 2.7). Буквы *PD* в верхней части окружности – соответствуют измерению перепада (разности) давлений, буква *T* – обозначает функцию преобразования сигнала перепада давления в стандартный выходной электрический сигнал (табл. 2.6). Следовательно, изображенные кругами позиции 101A и 101B фрагмента – дифманометры бесшкальные, установленные по месту (на трубопроводе, местном щите), измеряющие перепад давления на фильтрах, преобразующие перепад давления в стандартный электрический сигнал (например, 4-20 мА) и передающие сигнал к компьютеру противоаварийной защиты (ПАЗ), установленному на центральном пульте управления производством. Контроллер ПАЗ изображен в виде шестиугольника с поперечной линией (табл. 2.7). Буква *A* в верхней части шестиугольника – сигнал тревоги. Очевидно, что при повышении перепада давления на фильтрах в системе противоаварийной защиты (ПАЗ) предусмотрены меры предотвращения аварийной ситуации.

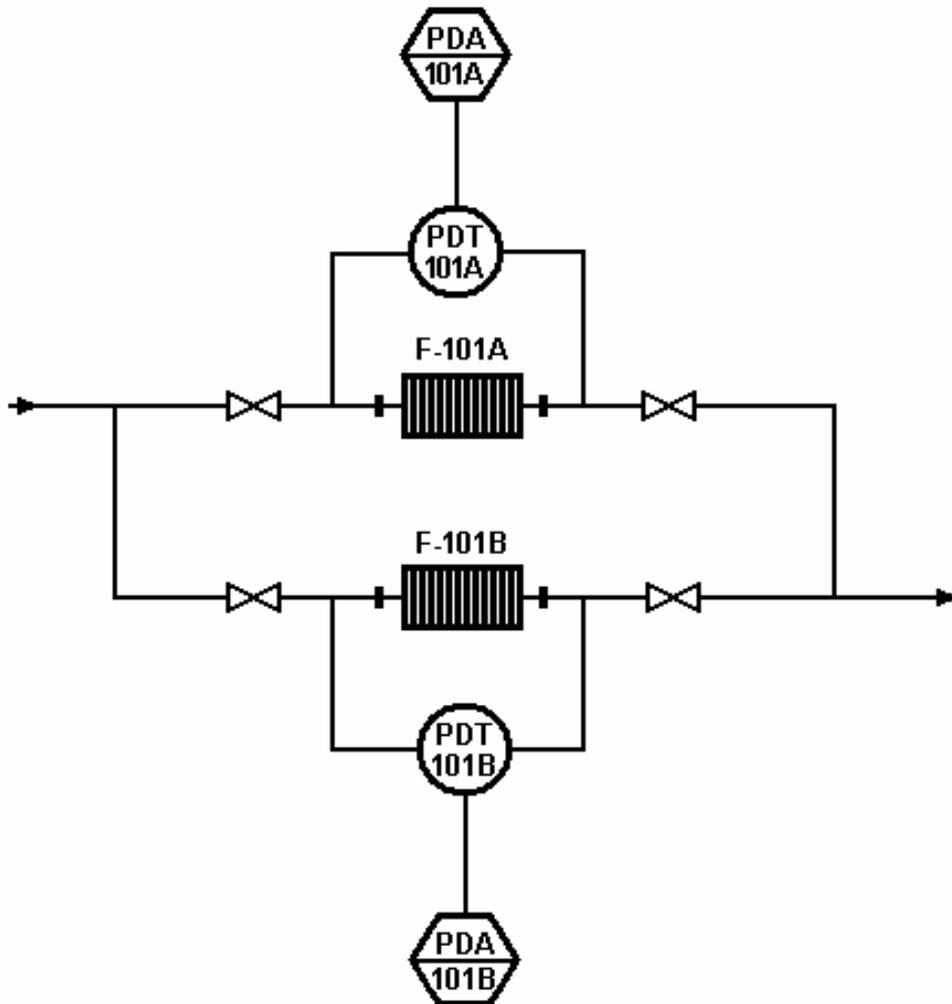


Рис. 2.4. Схема автоматизации фильтрования потока двумя фильтрами

Контрольные вопросы

1. Правила построения функциональных схем автоматизации (ФСА) по ГОСТ 21.404-85 (21.408-93).
2. Построение условного обозначения прибора на ФСА.
3. Как изображаются технологическое оборудование и коммуникации на ФСА?
4. Чем отличаются обозначения приборов расположенных по месту и на щите на ФСА?
5. Условные обозначения и графические символы зарубежных проектно-технологических фирм и организаций.
6. Сравните условные обозначения по стандарту *ANSI ISA – S5.1 – 1984 (R1992)* с условными обозначениями стандарта РФ ГОСТ 21.404 – 85, выявите отличия и запомните их.

3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Основным назначением принципиальных схем является отражение с достаточной полнотой и наглядностью взаимной связи между отдельными средствами автоматизации и вспомогательной арматурой, входящих в состав функциональных узлов систем автоматизации, с учетом последовательности их работы и принципа действия [1]. Принципиальные схемы составляют на основании функциональных схем автоматизации (ФСА), исходя из заданных алгоритмов функционирования отдельных узлов контроля, сигнализации, автоматического регулирования и управления и общих технических требований, предъявляемых к автоматизированному объекту. На принципиальных схемах в условном виде изображают приборы, аппараты, средства связи между элементами, блоками и модулями этих устройств. В общем случае принципиальные схемы содержат:

- условные обозначения принципа действия того или иного функционального узла системы автоматизации; поясняющие надписи; части отдельных элементов (приборов, средств автоматизации, электрических аппаратов) данной схемы, используемых в других схемах, а также элементы устройств из других схем;
- диаграммы переключений контактов многопозиционных устройств;
- перечень используемых в схеме приборов, средств автоматизации, аппаратов;
- перечень чертежей, относящихся к данной схеме, общие пояснения и примечания.

Принципиальная схема – первый рабочий документ, на основании которого выполняют чертежи общих видов и монтажных схем, щитов, пультов, стивов и т.п. и схемы внешних соединений между щитами, пультами, стивами, с одной стороны, и приборами, исполнительными механизмами и т.д., с другой, и между собой.

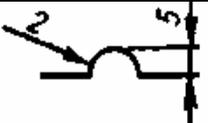
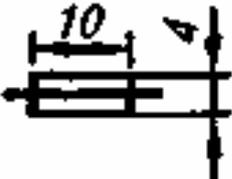
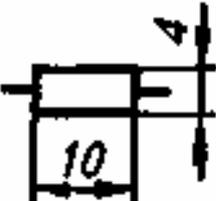
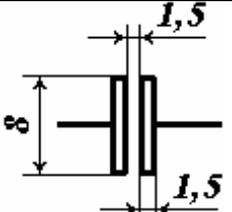
Принципиальные схемы в зависимости от вида используемой в приборах и средствах автоматизации энергии могут подразделяться на электрические (ПЭС), пневматические (ППС), гидравлические и комбинированные. В АСУ ТП разрабатывают следующие типы принципиальных схем: управления, автоматического регулирования, контроля, сигнализации и питания.

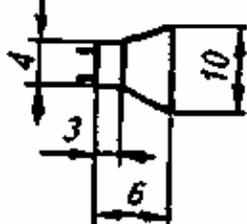
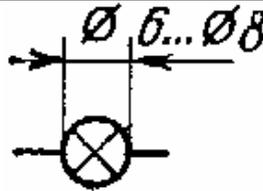
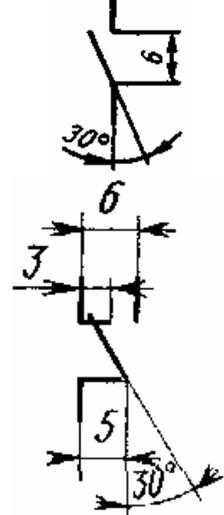
3.1. Условные графические обозначения элементов электрических схем

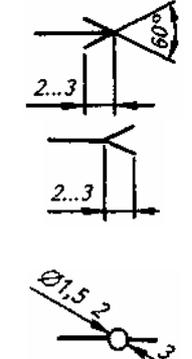
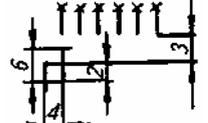
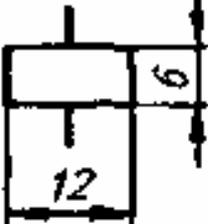
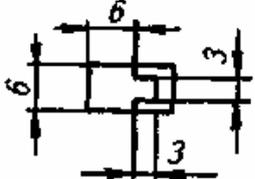
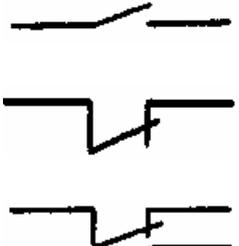
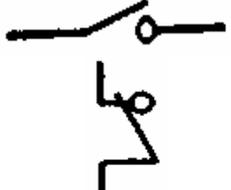
Графические обозначения элементов схем устанавливаются группой стандартов «Обозначения условные графические в схемах». Некоторые из них представлены в таблице 3.1.

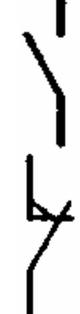
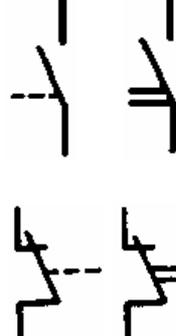
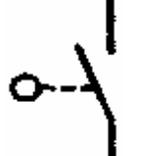
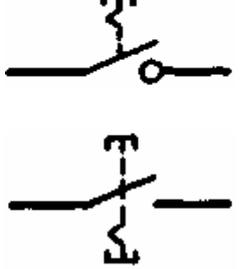
Таблица 3.1

Условные графические изображения элементов
принципиальных электрических схем

Наименование	Обозначение
1	2
По ГОСТ 2.747-68	
Корпус	
Заземление	
Элемент нагревательный	
Статор электрической машины	
Ротор электрической машины	
Предохранитель плавкий (ГОСТ 2.728-74)	
Резистор (ГОСТ 2.728-74)	
Конденсатор (ГОСТ 2.728-74)	

1	2
Катушка индуктивности, обмотка (ГОСТ 2.723-68)	
Обмотка трансформатора (ГОСТ 2.723-68)	
Микрофон	
Громкоговоритель, репродуктор	
Лампа накаливания (осветительная и сигнальная)	
Диод полупроводниковый (ГОСТ 2.730-73)	
Звонок электрический	
По ГОСТ 2.755-87	
Контакт коммутационного устройства: закрывающий переключающий	

1	2
Контакт соединения: разъемного разборного	
Переключатель однополюсный	
По ГОСТ 2.756-76	
Катушка электромеханического устройства (реле)	
Воспринимающая часть электротеплового реле	
По ГОСТ 2.755-87	
Контакт коммутационного устройства (общее обозначение): замыкающий размыкающий переключающий	
Контакт без самовозврата: замыкающий размыкающий	
Выключатель трехполюсный с двумя замыкающими и одним размыкающим контактами	

1	2
<p>Контакт для коммутации силовых цепей (контакт контактора): замыкающий</p> <p>размыкающий</p>	
<p>Контакт с механической связью (общее обозначение): замыкающий</p> <p>размыкающий</p>	
<p>Выключатель: однополюсный</p> <p>многополюсный (например, трехполюсный)</p>	
<p>Выключатель путевой однополюсный</p>	
<p>Выключатель кнопочный нажимной: с замыкающим контактом</p> <p>с размыкающим контактом</p>	
<p>Выключатель кнопочный без самовозврата: нажимной с возвратом посредством вторичного нажатия кнопки</p> <p>нажимной с возвратом посредством отдельного привода (специальной кнопки «Сброс»)</p>	

3.2. Буквенные обозначения элементов электрических схем

Буквенные обозначения элементов электрических схем и их изображения должны соответствовать ГОСТ 2.710–81 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Буквенные условные обозначения элементов электрических схем
по ГОСТ 2.710-81

Коды		Элементы
одно бук- вен- ные	двух бук- вен- ные	
1	2	3
<i>A</i> <i>B</i>		Устройство (общее обозначение) Преобразователи неэлектрических величин в электрические или наоборот (кроме генераторов и источников питания); аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики, используемые для указания или измерения
	<i>BA</i> <i>BB</i> <i>BD</i> <i>BE</i> <i>BG</i> <i>BK</i> <i>BL</i> <i>BP</i> <i>BQ</i> <i>BV</i> <i>BR</i>	Громкоговоритель Магнитострикционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин-приемник Сельсин-датчик Тепловой датчик, термопара Фотоэлемент Датчик давления Пьезоэлемент Датчик скорости Тахогенератор
<i>C</i> <i>D</i>		Конденсаторы Схемы интегральные, микросборки
	<i>DA</i> <i>DD</i> <i>DS</i> <i>DT</i>	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки
<i>E</i>		Элементы разные
	<i>EK</i> <i>EL</i> <i>ET</i>	Лампа осветительная Нагревательный элемент Пиропатрон

1	2	3
<i>F</i>		Разрядки, предохранители, устройства защитные
	<i>FA</i>	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия
	<i>FP</i>	Дискретный элемент защиты по току инерционного действия
	<i>FU</i>	Предохранитель плавкий
	<i>FV</i>	Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник
<i>G</i>		Генераторы, источники питания
	<i>GB</i>	Батарея
<i>H</i>		Устройства индикаторные и сигнальные
	<i>HA</i>	Прибор звуковой сигнализации
	<i>HG</i>	Индикатор символьный
	<i>HL</i>	Прибор световой сигнализации
<i>K</i>		Реле, контакторы, пускатели
	<i>KA</i>	Реле токовое
	<i>KH</i>	Реле указательное
	<i>KK</i>	Реле электротепловое
	<i>KM</i>	Контактор, магнитный пускатель
	<i>KT</i>	Реле времени
	<i>KV</i>	Реле напряжения
<i>L</i>		Катушка индуктивности, дроссели
	<i>LL</i>	Дроссель люминесцентного освещения
<i>M</i>		Двигатели
<i>P</i>		Приборы, измерительное оборудование
	<i>PA</i>	Амперметр
	<i>PC</i>	Счетчик импульсов
	<i>PV</i>	Вольтметр
	<i>PF</i>	Частотометр
	<i>PR</i>	Омметр
	<i>PS</i>	Регистрирующий прибор
	<i>PT</i>	Часы, измеритель времени действия
	<i>PW</i>	Ваттметр
<i>Q</i>		Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)
	<i>QF</i>	Выключатель автоматический
	<i>QK</i>	Короткозамыкатель
	<i>QS</i>	Разъединитель
<i>R</i>		Резисторы
	<i>RK</i>	Терморезисторы
	<i>RP</i>	Потенциометр
	<i>RS</i>	Шунт измерительный
	<i>RU</i>	Варистор

1	2	3
<i>S</i>		Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерения
	<i>SA</i> <i>SB</i> <i>SF</i> <i>SL</i> <i>SP</i> <i>SQ</i> <i>SR</i> <i>SK</i>	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: уровня давления положения (путевой) частоты вращения температуры
<i>T</i>		Трансформаторы, автотрансформаторы
	<i>TS</i> <i>TA</i> <i>TV</i>	Электромагнитный стабилизатор Трансформатор тока Трансформатор напряжения
<i>U</i>		Устройство связи, преобразователи электрических величин
	<i>UB</i> <i>UR</i> <i>UI</i> <i>UZ</i>	Модулятор Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель
<i>V</i>		Приборы электровакуумные и полупроводниковые
	<i>VD</i> <i>VT</i> <i>VL</i> <i>VS</i>	Диод, стабилитрон Транзистор Прибор электровакуумный Тиристор
<i>W</i>		Линии и элементы СВЧ
	<i>WE</i> <i>WK</i> <i>WS</i> <i>WT</i> <i>WU</i> <i>WA</i>	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор, фазовращатель Аттенюатор Антенна
<i>X</i>		Соединение контактное
	<i>XA</i> <i>XP</i> <i>XS</i> <i>XT</i> <i>XW</i>	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный

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

Примечания: 1. Сочетание *PE* не допускается.

2. Обозначение *SF* применяется для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей.

Обозначения аппаратов и их элементов на принципиальных электрических схемах указывают следующим образом:

- при горизонтальном положении электрических цепей – над графическим изображением аппаратов и их элементов;
- при вертикальном положении цепей – справа от графических изображений аппаратов и их элементов;
- для вращающихся машин (электродвигателей, генераторов и др.) – внутри графических изображений.

Для облегчения чтения схем условные обозначения допускается пропорционально увеличивать или уменьшать. Их можно также поворачивать в горизонтальном и вертикальном направлениях на 90 или 180°. Элементы фильтров или схем мостов изображают под углом 45° по отношению к горизонтальной оси.

Условные графические обозначения и наименование элементов, не предусмотренных ГОСТом, указывают в отдельной таблице над штампом. Элементы приборов для измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т.д.) изображают в виде окружности диаметром 8 мм с указанием номера позиции по схеме автоматизации. Номер позиции при горизонтальном начертании элементов управления проставляют над графическим обозначением, а при вертикальном – с правой стороны от него. Над контактами регулирующих приборов указывают характер контакта (максимальный, минимальный, нормальный).

ГОСТ 2.710 – 81 предусматривает следующие типы условных обозначений: высшего уровня, функциональной группы, конструктивного расположения, позиционное, электрического контакта, адресное, составное (табл. 3.3).

Обозначение функциональной группы – условное обозначение, при-

своенное функциональной группе, передающее, как правило, информацию о функциональном назначении функциональной группы. Обозначение высшего уровня строят из комбинации букв и цифр. Для устройств используют обозначения типа устройства, присвоенное ему в документации, на основании которой оно применено, или буквенно-цифровое обозначение, начинающееся с буквы "А", присвоенное на схеме объекта, например = A23, = AC16.

Для функциональных групп можно использовать цифровое обозначение с квалифицирующим символом, например ≠ 27.

Позиционное обозначение – условное обозначение, присвоенное каждому элементу и устройству, входящему в состав изделия, и содержащее информацию о виде элемента (устройства), его порядковый номер среди элементов (устройств) данного вида и, при необходимости, указание о функции, выполняемой данным элементом (устройством) в изделии.

Обозначение электрического контакта – условное обозначение, присвоенное электрическому контакту (выводу) элемента или устройства, предназначенному для осуществления электрических соединений или контроля.

В принципиальных электрических схемах проектов автоматизации из перечисленных типов условных обозначений, как правило, применяются: позиционные обозначения элементов схем, обозначения электрических контактов (например, для контактов штепсельных разъемов и др.) и составное обозначение.

Составное обозначение образовывается, как правило, из обозначения функциональной группы и позиционного обозначения. В составное обозначение может быть включено и обозначение электрического контакта.

Таблица 3.3

Обозначение квалифицирующего символа

Тип условного обозначения	Квалифицирующий символ	Наименование применяемого знака
Высший уровень	=	Равно
Функциональная группа	≠	Не равно
Конструктивное расположение	+	Плюс
Позиционное	–	Минус
Электрический контакт	:	Двоеточие
Адресное	()	Круглые скобки

Составное обозначение вводится в сложных схемах, когда целесообразно различать различные схемы сгруппировать в функциональные группы и (или) выделить какие-либо устройства. Например, в схеме на рис. 3.1 в качестве

условных обозначений элементов применено составное обозначение, образованное из обозначений функциональной группы ($\neq SA$, $\neq A2$) и позиционного обозначения различных элементов схем ($K2$ и др.). Таким образом, условное обозначение, например, реле в этой схеме записано: $\neq A1 - K2$ (о квалифицирующих символах – см. ниже). Символом $A2$ здесь обозначен стандартный блок управления электродвигателем.

Таблица 3.4

Основные технические характеристики
электрооборудования и электроаппаратуры

Наименование	Номинальные данные
Электродвигатели	Мощность, напряжение, род тока
Магнитные усилители	Напряжение питания, ток или мощность нагрузки
Автоматические выключатели	Род тока, напряжение, величина номинального тока расцепителя, тока отсечки, наличие блок - контактов
Рубильники, выключатели, переключатели	Напряжение, ток
Предохранители	Напряжение, ток патрона, ток плавкой вставки
Трансформаторы	Высшее и низшее напряжение, мощность
Стабилизаторы, выпрямители, источники питания	Род тока, высшее и низшее напряжение, мощность, максимальное значение выпрямленного тока
Диоды полупроводниковые	Обратное напряжение, наибольший выпрямленный ток
Пускатели магнитные, контакторы	Напряжение катушки, сила тока главных контактов, наличие блок - контактов
Реле промежуточные	Напряжение катушки, род тока, число контактов, исполнение
Реле времени	Напряжение катушки, род тока, число контактов, исполнение, выдержка времени
Шаговые искатели	Напряжение катушки, число полей и ламелей
Резисторы	Мощность, величина сопротивления
Конденсаторы	Емкость, рабочее напряжение
Сигнальные лампы	Напряжение, мощность
Кнопки	Напряжение, ток, число контактов, исполнение

Как видно из приведенных примеров, составное обозначение образовывается последовательной записью условных обозначений различных типов в том порядке, в котором эти типы условных обозначений записаны в ГОСТ 2.710–81. Допускается изменять установленную последовательность записи различных типов, когда необходимо, например, передать более полную информацию о вхождении элементов, устройств или функциональных групп в устройства, функциональные группы более высокого уровня.

Например, может быть следующее составное обозначение $\neq 75 - A1-K1$ (реле $K1$ входит в состав устройства $A1$, которое входит в функциональную группу 75). Перед каждым условным обозначением, входящим в составное обозначение, должен быть указан так называемый квалифицирующий символ – специальный, установленный стандартом знак, который указывает тип условного обозначения (табл. 3.3).

3.3. Перечень элементов

Основные характеристики всех аппаратов и элементов, используемых в данной принципиальной электрической схеме, должны быть приведены на схеме в перечне аппаратуры, который оформляется в виде таблицы, объединяющей аппаратуру в группы в зависимости от места установки и заполняемой сверху вниз. В перечне аппаратуры указывают номера позиций по заказной спецификации, обозначения по электрической схеме, наименование, тип, число аппаратов, технические характеристики и дают примечания. Перечень элементов обычно помещают на первом листе схемы над основной надписью. При необходимости допускается выполнять перечень аппаратуры на отдельном листе. В табл. 3.4 приведены основные технические характеристики электрооборудования и электроаппаратуры, которые должны приводиться в графе «Техническая характеристика» перечня аппаратуры.

Пример принципиальной электрической схемы управления электродвигателем задвижки без принудительного уплотнения при закрытии [2] представлен на рис. 3.1.

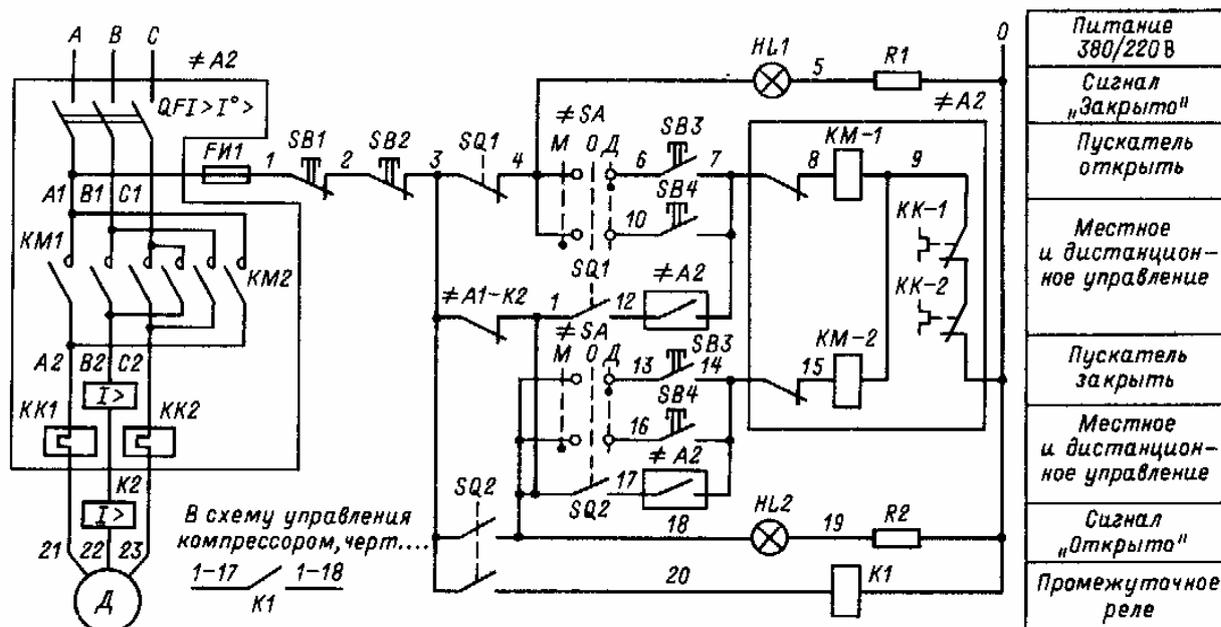


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателем задвижки без принудительного уплотнения при закрытии [2]

Под одним номером в перечне можно объединять все приборы и аппараты, имеющие одинаковый тип, технические характеристики и каталожные наименования.

Сложные устройства, выпускаемые заводами-изготовителями в виде готовых изделий (станции и панели управления, блоки сигнализации и т. п.), следует заносить в перечень аппаратуры комплектно, без расчленения на отдельные элементы.

Аппараты и приборы, контакты которых обведены тонкими линиями (см. ниже), в перечень данной схемы не внесены, так как они учтены в перечнях соответствующих схем. Пример оформления перечня элементов к принципиальной схеме, изображенной на рис. 3.1, приведен в табл. 3.5.

Диаграммы и таблицы включений контактов электрических аппаратов и устройств. На схемах, в которых используют многопозиционные аппараты (ключи, переключатели, программные устройства и т. п.), помещают диаграммы и таблицы переключений их контактов. В таблицах приводят данные, отражающие тип аппарата, вид рукоятки (спереди) и схему расположения контактов (сзади), тип рукоятки и пакета, номер контактов и режим работы.

Таблица 3.5

Перечень элементов к принципиальной схеме, изображенной на рис. 3.1 [2]

Позиция	Позиционное обозначение	Наименование	Тип	Число	Техническая характеристика	Примечание
Щит управления						
101	<i>HL1</i>	Лампа в арматуре с зеленой линзой АС-220	Ц-220-10	1	220 В, 10 Вт	
102	<i>HL2</i>	То же с красной линзой	Ц-220-10	1	220 В, 10 Вт	
105	<i>SB1, SB3</i>	Кнопка управления	К-03	3	200 В, 5 А,	
112	<i>K1</i>	Реле промежуточное	РП-25	1	$I_3 + I_p$ 220 В,	
114	<i>R1, R2</i>	Резистор проволочный эмалированный	ПЭ-15	2	$4_3 + I_p$ 100 Ом, 15 Вт	
По месту						
108	<i>SB2, SB4</i>	Кнопка управления трехштифтовая	КУ-122-3М	1	220 В, 4 А,	
-	<i>M</i>	Двигатель	АОС31-4Ф ₂	1	$I_3 + I_p$ 380 В, 0,6 кВт	
-	<i>SQ1, SQ2</i>	Конечные выключатели	УКВ-4	4		
Шкаф силового электрооборудования						
115	<i>KK-1, KK-2</i>	Реле максимального тока	РТ-40/6	1	380 В, 6 А	Режим длительный
-	<i>QF</i>	Автоматический выключатель	АП50-3МТ	1	500 В, $I_{ном} = 2,5 А,$ $I_{отс} = 7I_{ном}$	
-	<i>KM-1, KM-2</i>	Пускатель магнитный реверсивный	ПМЕ-114	1	220 В	Станция управл.
-	<i>FU1</i>	Предохранитель	ПР2	1	550 В,	
-	<i>≠SA</i>	Универсальный переключатель	УП5311-С225	1	$I_{вст} = 6 А$ 500 В, 20 А	

Не использованные в схеме контакты обозначают звездочкой (*). Значение звездочки поясняют в примечании. Над таблицей указывают наименование и буквенно-позиционное обозначение аппарата.

Для всех программных устройств, конечных и путевых выключателей и т.п. на схемах изображают диаграммы их работы с пояснениями. В необходимых случаях приводят циклограммы работы оборудования и аппаратуры.

Контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах, изображают на свободном поле чертежа в виде самостоятельных цепей отдельно от основных цепей схемы. Над ними, как правило, размещают поясняющую надпись «Контакты, используемые в других их схемах». Около каждого изображенного контакта указаны краткое наименование и номер схемы, а также маркировка цепей из этой схемы, в которой этот контакт занят. Например, на рис. 3.1 контакт реле *K1* используется в схеме управления компрессором.

Адресом для отыскания этого контакта в схеме компрессора служат: номер чертежа, буквенно-позиционное обозначение $K1$ и маркировка 1-17 и 1-18.

Для того, чтобы упростить чтение принципиальных электрических схем, цепи последовательно нумеруют (маркируют). Маркировка участка цепи служит для их опознания, а иногда и для отражения их функционального назначения в принципиальных электрических схемах. При горизонтальном изображении цепи и их ответвления нумеруют сверху вниз, а при вертикальном – слева направо. В первом случае номер указывают слева от цепи, во втором – сверху над цепью.

Маркировку в электрических схемах осуществляют по ГОСТ 2709–89, согласно которому все участки электрических цепей, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле и другими элементами, должны иметь разную маркировку (рис. 3.1). Участки, сходящиеся в одном узле принципиальной электрической схемы, а также проходящие через разъемные контактные соединения, маркируют одинаково.

Для маркировки применяют арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита.

Цепи в схемах обозначают независимо от нумерации входных и выходных элементов машин, аппаратов и приборов, соблюдая последовательность обозначения от ввода источника питания к потребителю. Разветвляющиеся участки обозначают сверху вниз в направлении слева направо.

Для обозначения используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним размером шрифта. Не рекомендуется применять буквы I и O .

Для силовых цепей переменного тока приняты обозначения $L1$, $L2$, $L3$ и последовательные числа. Например, участки цепи первой фазы $L1$ обозначают $L11$, $L12$, $L13$,..., второй фазы $L2$ - $L21$, $L22$, $L23$,... и т.д. Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами (A , B , C ,..., $A1$; $B1$ и т.д.). Нейтральный провод обозначают буквой N .

Силовые цепи постоянного тока обозначают: участки цепей положительной полярности - нечетными числами, отрицательной полярности - четными числами. Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности плюс " $L +$ " и минус " $L -$ ". Допускается применять только знаки "+" и "-". Средний провод обозначают буквой M .

Допускается обозначать цепи последовательными числами.

Маркировку, как правило, проставляют: при горизонтальном расположении цепей – над участком проводника, при вертикальном расположении цепей – справа от участка проводника. Цепи управления, сигнализации, защиты, блокировки, измерения маркируют последовательно цифрами.

Контрольные вопросы

1. Назовите исходный материал для составления принципиальных электрических схем (ПЭС).
2. Сформулируйте назначение ПЭС.
3. Приведите примеры условных графических обозначений элементов на ПЭС.
4. Приведите примеры условных буквенных обозначений элементов на ПЭС.
5. Приведите примеры маркировки цепей ПЭС на принципиальной схеме, изображенной на рис. 3.1.
6. Как составляется перечень элементов ПЭС?

4. ЩИТЫ И ПУЛЬТЫ

Щиты и пульты являются постами управления и служат для связи оператора с объектом управления [1]. На щитах и пультах систем автоматизации (рис. 4.1) размещаются средства контроля и управления технологическим процессом, а также устройства сигнализации, защиты, блокировки, питания и линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация и т.п.). На лицевой панели щита располагают мнемосхемы, табло систем контроля. Мониторы (дисплеи) находятся на специальных пультах рядом с креслом оператора.

Для размещения средства контроля и управления применяют шкафные щиты – в условиях, когда возможны загрязнения или механические повреждения коммутации щита, или панельные щиты, которые устанавливают в специальных сухих и чистых помещениях, предназначенных для установки щитов. В связи с большим числом средства контроля и управления, которые требуются для реализации систем контроля и регулирования, в щитовом помещении, за щитами на специальных стойках с объемным каркасом – станивах располагают регуляторы (контроллеры) и приборы, которые не требуются оператору при управлении процессом. Например, на станиве помещают регулятор температуры перегретого пара, а на пульте – задатчик этого регулятора и ключ дистанционного управления впрыском. Подходить к самому регулятору оператору не требуется, так как все необходимые органы управления регулятором вынесены на панель пульта.

Пульты иногда располагают у щитов, но чаще всего вблизи них (рис. 4.2). На пультах размещают аппаратуру управления (ключи, кнопки, переключатели, указатели положения и др.), сигнализации (лампочки, индикаторы и др.) и переключатели измерительных цепей.

Для компоновки щитов и пультов в единый ансамбль предусматриваются вспомогательные элементы: декоративные, угловые и вспомогательные панели.

4.1. Общие виды щитов и пультов

По назначению щиты разделяют на местные, агрегатные, блочные и центральные (ЦЩУ) или диспетчерские. На местных щитах располагают средства измерения и автоматизации части технологической установки, на агрегатных щитах – средства контроля и управления одного агрегата, например щит питательного насоса. Блочные щиты (БЩУ) служат для управления работой блока котел – турбина, и на нем располагают средства контроля и управления этого блока.

На ЦЩУ сосредоточены приборы и аппаратура контроля и управления технологическим процессом цеха или завода.

На чертежах общих видов щиты изображают в следующих масштабах: 1:10 – для единичного щита; 1:25 – для составного щита.

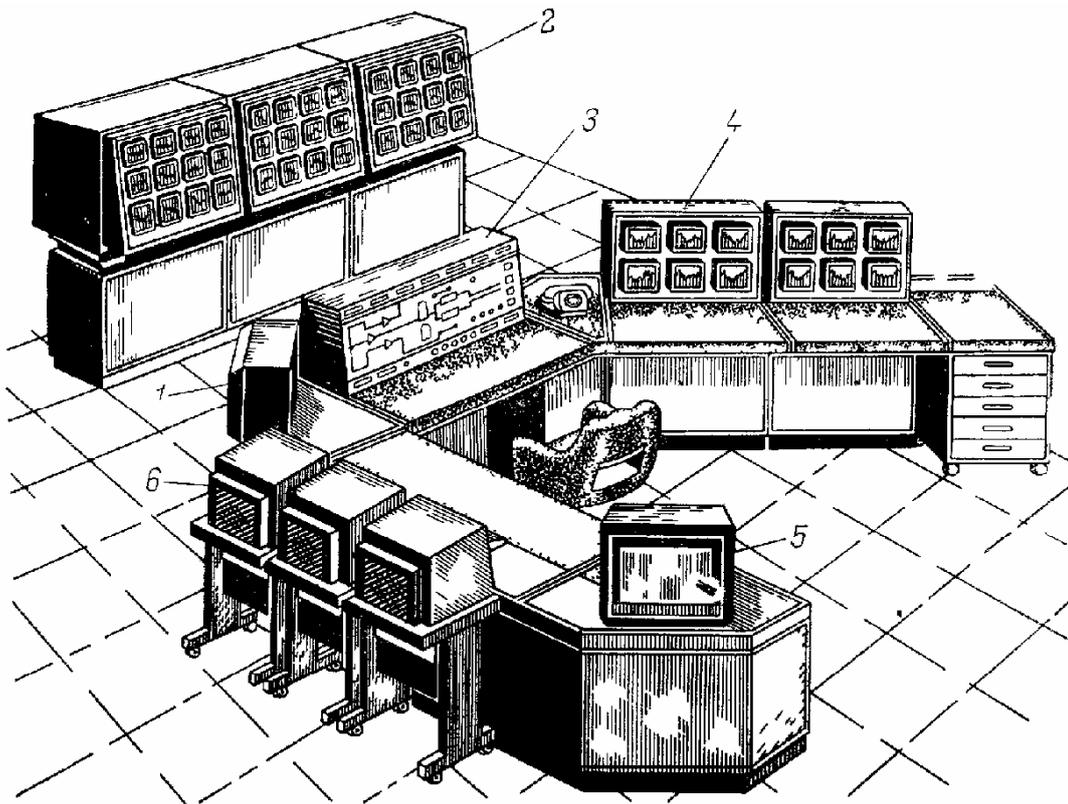


Рис. 4.1. Расположение щитов и пультов в интерьере пункта управления:
 1, 5 – блок показывающих приборов; 3 – мнемосхема и пульт управления,
 2, 4 – щит регистрирующих приборов, 6 – мониторы



Рис. 4.2. Общий вид на рабочее место оператора

При этом масштабы на чертежах не указывают.

Фасадная панель щитов может состоять из двух или из трех функциональных полей. На нижнем поле аппаратуру и приборы не размещают и оно

выполнено из декоративного тонкого металла. На среднем поле монтируют показывающие и регистрирующие приборы и органы управления, а сигнальную аппаратуру, малогабаритные показывающие приборы и мнемосхемы – на верхнем поле. Разбивка панелей на три поля упрощает монтаж и повышает его качество.

Для облегчения работы оператора по управлению сложным технологическим процессом, для удобства и наглядности часто на щиты наносят мнемоническую схему технологического процесса при помощи условных символов. Мнемосхемы выполняют на фасадной стороне щита в верхней его части либо на специальных панелях. Под приборами и аппаратурой управления, не встроенными в мнемоническую схему, помещают рамки с соответствующими надписями.

Средства визуального наблюдения на передней панели щита размещают в зоне оптимального визуального восприятия на 200 мм ниже верхней плоскости щита и на расстоянии 700 мм от пола (у щитов без пульта) и 1000 мм (у шкафных щитов с приставными пультами управления). В верхней части щита, в зоне 1000 – 1700 мм от пола, устанавливают световую сигнализацию, затем показывающие и регистрирующие приборы контроля. Мнемонические схемы с системой сигнальных ламп – в зоне 1000 – 2200 мм от пола.

На схемах общих видов щитов и пультов изображаются [1]:

- фронтальная плоскость щита (или рабочая плоскость пульта) с упрощенным изображением и координацией монтируемых на плоскость приборов, средств автоматизации и элементов мнемосхем;
- плоскость щита и пульта с упрощенными изображениями и координацией устройств для ввода электрических и трубных проводок;
- схема сочетания панелей (многопанельного, многошкафного) щита в плане с разбивкой на блоки (в случае блочных щитов и пультов);
- таблицы надписей на табло и в рамках (на планках), расположенных у приборов и средств автоматизации;
- технические требования на изготовление;
- спецификация щитов и пультов и перечень устанавливаемых с фронтальной стороны щита и рабочей плоскости пульта приборов и аппаратуры (попанельно).

В необходимых случаях могут выполняться разрезы и отдельные узлы щитов и пультов. Например, в каркасных щитах показывают вертикальный разрез щита с изображением и координацией устройств для электрических и трубных проводок (короба, лотки, коллектор сжатого воздуха и т.д.).

На фронтальной плоскости щита (или рабочей плоскости пульта) показывают (в упрощенном изображении) приборы, средства автоматизации и элементы мнемосхемы и проставляют габаритные размеры щитов или пультов и размеры, координирующие установку всех приборов и средств автоматизации, закрепленных на этих плоскостях [1] (рис. 4.3). Около изображений приборов указывают их позиции по заказным спецификациям, около изобра-

жений аппаратуры управления и сигнализации – их буквенно-цифровое обозначение по принципиальным электрическим или пневматическим схемам.

Ввод в щит электрических и трубных проводок предусматривается, как правило, снизу или сверху и как исключение – сбоку щита. Для удобства монтажа и эксплуатации при прочих равных условиях предпочтение должно отдаваться вводу проводок снизу щита или пульта.

Устройства для ввода проводок (сальников, втулок, переборочных соединителей и т.д.) изображают в упрощенном виде и координируют.

Если щит или пульт состоит из нескольких панелей, то на чертеже общего вида А приводится схема сочетаний панелей. При применении блочных щитов и пультов на схеме сочетания панелей должна быть показана разбивка на блоки.

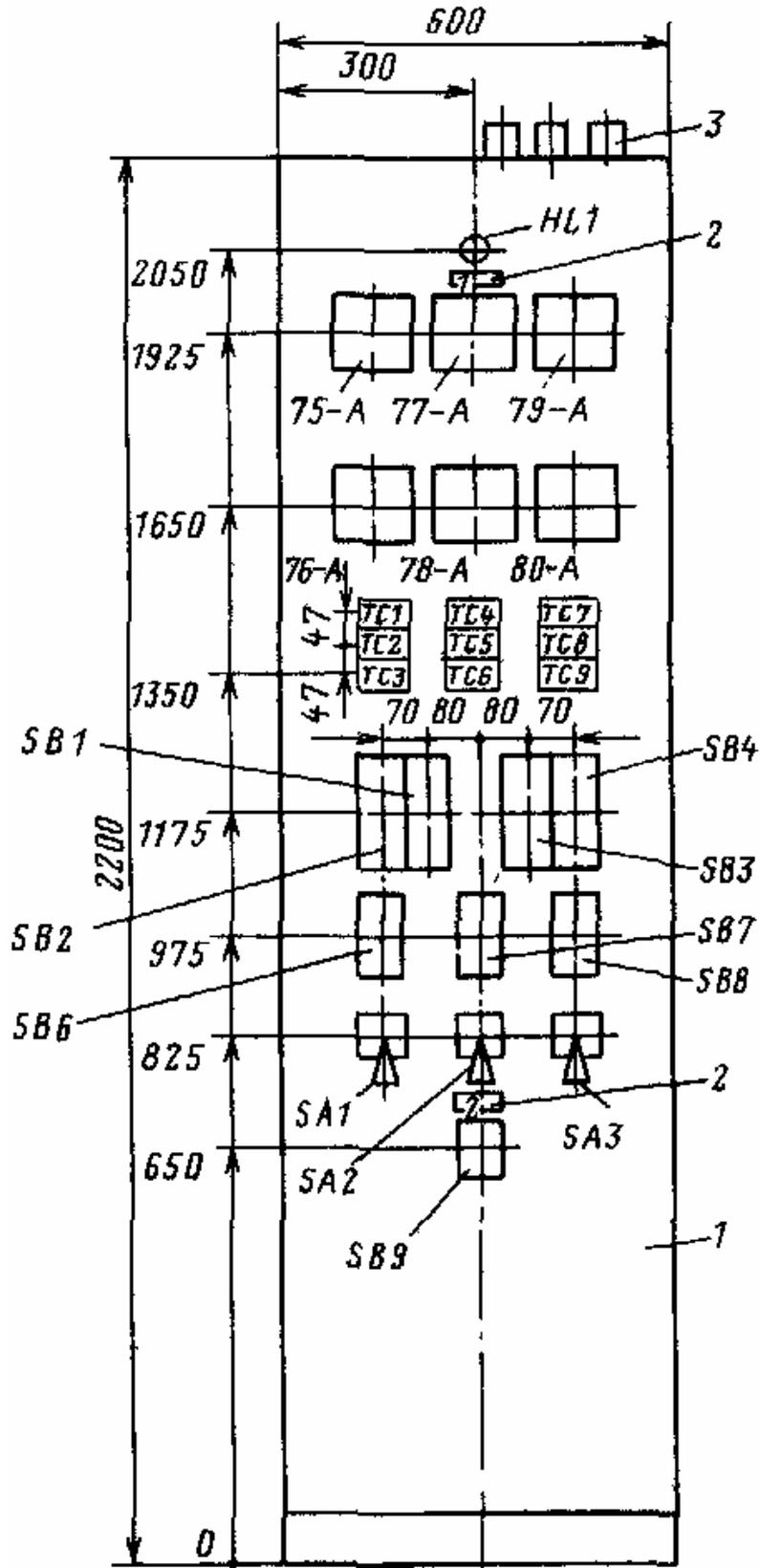


Рис. 4.3. Общий вид шкафного щита [1]:

- 1 – щит шкафный ЩШ-ЗД-2200×600×600, ОСТ 36.13–76;
 2 – рамка для надписей РПМ-55, ТУ-36.1130 – 74; 3 – кабельные вводы

В чертежах общих видов приводится также перечень элементов (табл. 4.1). В перечне указывают: позиции приборов и средств автоматизации по заказным спецификациям и позиционное обозначение аппаратуры по принципиальным электрическим и пневматическим схемам, наименование, тип, количество, номер установленного чертежа, примечание.

Таблица 4.1

Перечень элементов к рис. 4.3 [1]

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип	Чи сло	№ установочного чертежа
Щит ЩШ-ЗД-2200×600×600 ОСТ 36.13-76				
75.A-80.A HL1	Амперметр Арматура с молочной линзой	Э-761 АС-220	6 1	ТК4-1079-68 ТК4-1117-68
HL1-HL1 SB9	Табло световое Кнопка управления	ТСМ КУ-121-1	9 1	ТК4-1123-68 ТК4-1142-68
SB6-SB8	То же	КУ-121-2	3	ТК4-1143-68
SB1-SB4	» »	КУ-121-3	4	ТК4-1144-68
SA1-SA3	Универсальный переключатель	УП-5313-С322	3	ТК4-1217-78

Технические требования к чертежам общего вида щита или пульта выполняют согласно ГОСТ 2.316 – 68 и помещают над основной надписью на чертеже с изображением фронтальной плоскости с соблюдением требований РМ4-59-В. В общем случае в технических требованиях указывают, какие размеры являются справочными, вариант антикоррозионного и декоративного покрытия данной щитовой продукции, а также на основании каких принципиальных схем выполнены схемы или таблицы соединений и соответственно таблицы подключений.

Таблицу надписей выполняют на отдельных листах форматом А4 согласно РМ4-107-82.

4.2. Конструкция и типы щитов и пультов

Конструкция и типы щитов и пультов (табл. 4.2) определяются использованными основными элементами согласно ОСТ 36.13. Основой для изготовления шкафов, панелей с каркасом, стоек и корпусов щитов является каркас. Каркасы для изготовления шкафов, панелей с каркасом и стоек одних и тех же размеров одинаковы.

Типы щитов и пультов, стативов и вспомогательных элементов [1]

Наименование	Обозначение
<i>Щиты для диспетчерских и операторских пунктов (ДОП)</i>	
Щит панельный с каркасом	ЩПК
Щит панельный с каркасом, закрытый с правой стороны	ЩПК-3П
Щит панельный с каркасом, закрытый с левой стороны	ЩПК-3Л
Щит панельный с каркасом двухсекционный	ЩПК-2
Щит панельный с каркасом двухсекционный, закрытый с правой стороны	ЩПК-2-3П
Щит панельный с каркасом двухсекционный, закрытый с левой стороны	ЩПК-2-3Л
Щит панельный с каркасом трехсекционный	ЩПК-3
Щит панельный с каркасом трехсекционный, закрытый с правой стороны	ЩПК-3-3П
Щит панельный с каркасом трехсекционный, закрытый с левой стороны	ЩПК-3-3Л
<i>Стативы</i>	
Статив	С
Статив двухсекционный	С-2
Статив трехсекционный	С-3
Статив плоский	СП
<i>Вспомогательные элементы для щитов ДОП</i>	
Панель вспомогательная с дверью	ПнВ-Д
Панель вспомогательная	ПнВ
Вставка угловая	ВУ
Панель декоративная	ПнД-ЩПК
Панель торцевая декоративная	ПнТД-ЩПК
Вставка угловая для панелей декоративных	ВУ-Д-ЩПК
<i>Пульты</i>	
Пульт	П
Пульт правый	П-П
Пульт левый	П-Л
Пульт средний	П-С
Пульт с наклонной приборной приставкой	ПНП
Пульт с наклонной приборной приставкой левый	ПНД-Л
Пульт с наклонной приборной приставкой средний	ПНП-С
Пулы с наклонной приборной приставкой правый	ПНП-П
<i>Вспомогательные элементы для пультов</i>	
Вставка угловая к пультам	ВУ-П
Вставка угловая к пультам с наклонной приборной приставкой	ВУ-ПНП

Конструкция стоек, панелей с каркасом и шкафов [1]. Стойки, панели с каркасом и шкафы изготавливают единичными, а также двух- или трехсекционными. Стойки, панели с каркасом и шкафы выпускают в двух

исполнениях (I и II), отличающихся друг от друга количеством фасадных панелей.

Стойка стativa типа С представляет собой унифицированный каркас, закрепленный на одиночной или многосекционной опорной раме. Исполнение I стойки не содержит фасадных панелей, в то время как на стойке исполнения II устанавливают панель. Стойка плоского стativa типа СП представляет собой плоский каркас установленный на плоской опорной раме.

Панель с каркасом представляет собой стойку с закрепленными на ней фасадными двумя панелями для исполнения I или тремя панелями – для исполнения II.

В зависимости от типа щита панельного с каркасом (ЩПК) может быть установлена одна боковая стенка с левой или правой стороны.

Шкаф щита типа ЩШ-ЗД представляет собой стойку с фасадными двумя панелями для исполнения I или тремя – для исполнения II, с установленными боковыми стенками, крышкой и дверями.

В щитах ЩПК и ЩШ-ЗД могут быть установлены поворотные рамы для размещения аппаратуры.

Шкаф типа ЩШ-ЗД имеет двери с передней и задней сторон.

Габаритные и установочные размеры щитов и стativeв представлены на рис. 4.4.

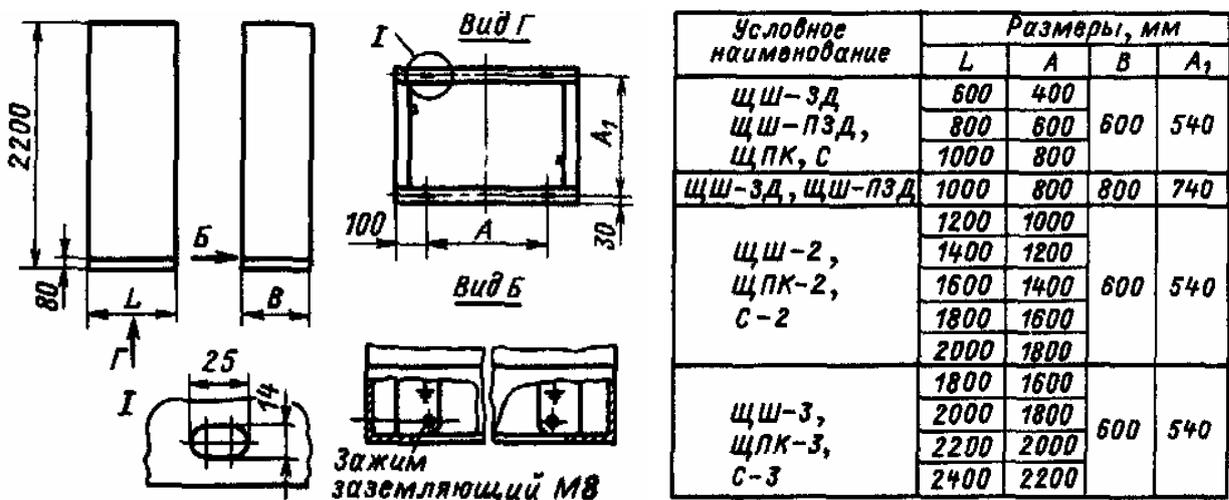


Рис. 4.4. Габаритные и установочные размеры щитов и стativeв с каркасом [1]

Условные наименования щитов, стativeв и пультов. Условные наименования всех типоразмеров щитов, стativeв и пультов, предусмотренных ОСТ 36.13-76 и ОСТ 36.ЭД1.13-79, строят по одному принципу. Условное обозначение, например, стativa двухсекционного, исполнения I, шириной секций 800 и 800 мм запишется следующим образом [1]:

- стative С-2-I-(800+800)-УХЛ4-IP00 ОСТ 36.13-76.

Пример записи стойки одиночной исполнения II шириной 600 мм,

применяемой в качестве металлоконструкции для статива:

- стойка стativa С-1-600-УХЛ4-1Р00 ОСТ 36.13-76.

Условное наименование щита панельного с каркасом строится аналогично.

Пример записи щита панельного с каркасом, трехсекционного, закрытого слева, исполнения I, с поворотной рамой на каркасе шириной 600 мм, шириной 800, 800 и 600 мм:

- щит ЩПК-3-3Л-I-(800+800+600)-УХЛ4-1Р00 ОСТ 36.13-76.

Пример записи панели с каркасом одиночной, открытой с двух сторон, исполнения II, шириной 1000 мм, применяемой в качестве металлоконструкции для щита панельного с каркасом:

- панель с каркасом щита ЩПК-II-1000-УХЛ4-1Р00 ОСТ 36.13-76.

Пример записи щита шкафного с задней дверью, двухсекционного, открытого с двух сторон, исполнения I, шириной секций 800 и 600 мм:

- щит ЩШ-2-02-I-(800+600)-УХЛ4-1Р00 ОСТ 36.13-76.

Пример записи шкафа с задней дверью, одиночного, открытого справа, исполнения II, шириной 1000 мм и глубиной 800 мм, применяемого в качестве металлоконструкции для щита шкафного с задней дверью:

- шкаф щита ЩШ-3Д-ОП-II-1000×800-УХЛ4-1Р00 ОСТ 36.13-76.

Примеры записи условных обозначений панелей:

- панель вспомогательная с задней дверью – «Панель ПнВ-Д-УХЛ4 ОСТ 36.13-76»;

- панель вспомогательная шириной 800 мм – «Панель ПнВ-800-УХЛ4 ОСТ 36.13-76»;

- панель декоративная шириной 1600 мм – «Панель ШД-ЩПК-1600-УХЛ4 ОСТ 36.13-76».

4.3. Компоновка центральных щитов и пультов

Проектирование центрального щита выполняется на основе требований к организации рабочего места оператора (диспетчера), изложенных в ГОСТ 21958 – 76 «Система «человек – машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования», в руководящем материале РМ4-51–73 «Щиты и пульты управления. Принципы компоновки», а также требований к выполнению интерьеров диспетчерских помещений, требований к строительной и сантехнической частям и освещению этих помещений.

Компоновка центральных щитов и пультов в специальных помещениях зависит от их общей длины по фронту, характера и частоты использования средств информации и органов управления, установленных на них. Применяют следующие варианты компоновки щитов. Щиты прямоугольной формы применяют, когда они обзревается с рабочего места оператора под допустимыми углами обзора. Оптимальный угол обзора в горизонтальной плоскости 30° (зона эффективной видимости); допустимый угол обзора в горизон-

тальной плоскости 90° при расположении рабочего стола или постоянно обслуживаемого пульта оператора (диспетчера) против середины фронта щита (рис. 4.5). Рекомендуемая дистанция обзора и считывания показаний приборов с мелкой шкалой и ножевидной стрелкой 1 – 2 м, приборов с хорошо видимыми шкалами и указателем 2 – 4 м, для мнемонических схем 4 – 5 м. В каждом конкретном случае дистанция обслуживания рассчитывается по наиболее важным приборам, информация с которых часто считывается.

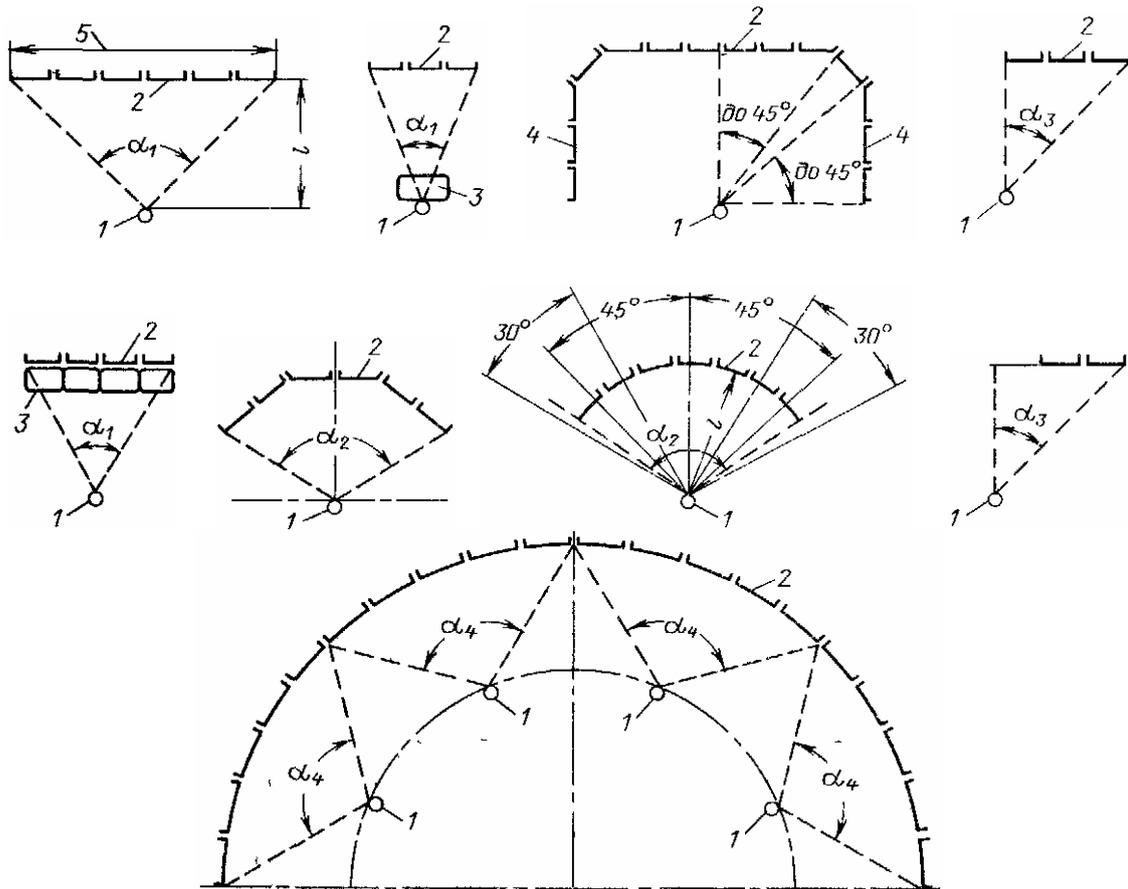


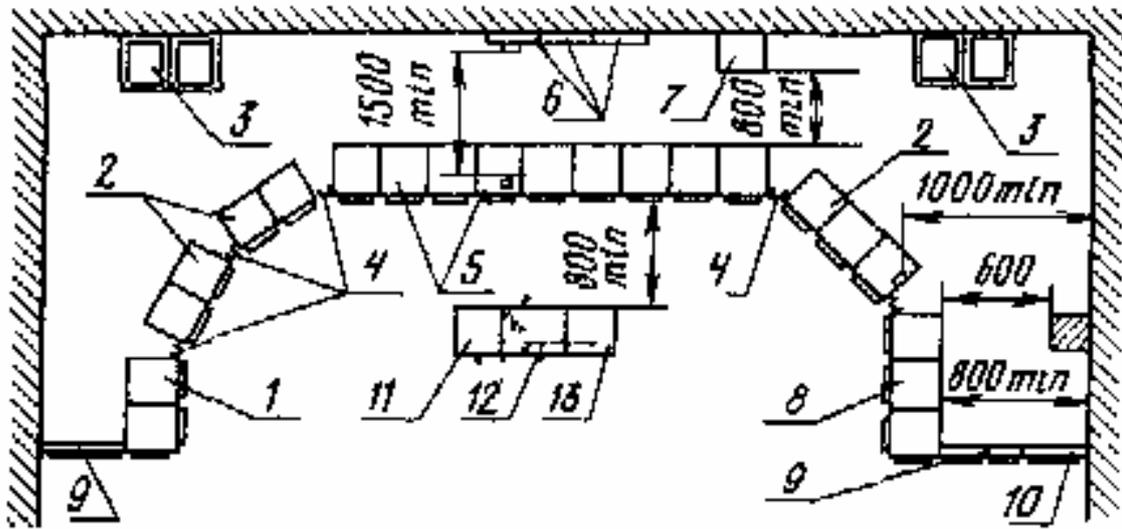
Рис. 4.5. Примеры расположения щитов и пультов относительно рабочего места диспетчера (оператора) [5]:

1 – рабочее место оператора; 2 – щит, 3 – пульт, 4 – панели щита для установки приборов редкого использования; 5 – размер фронта панелей;

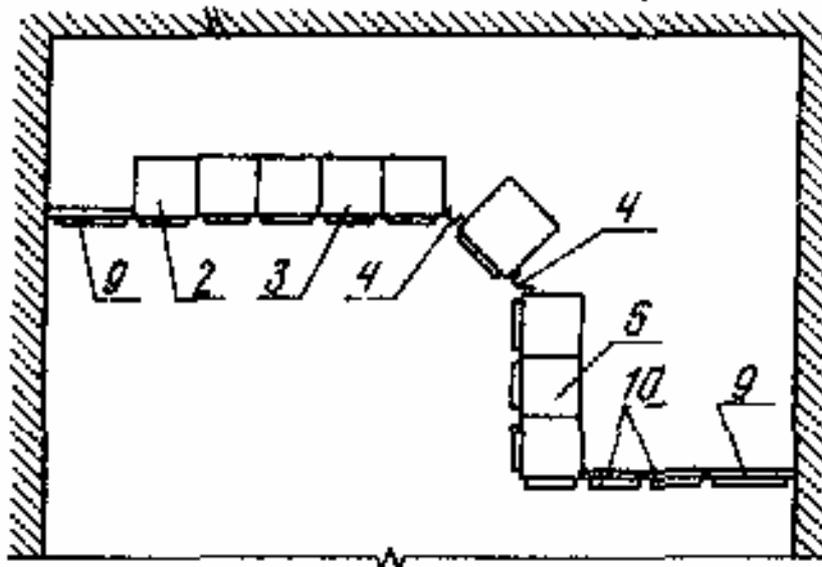
l – дистанция наблюдения, α_1 – угол обзора оптимальный 30° , допустимый 90° ; α_3 – угол обзора допустимый до 120° ; α_3 – угол обзора допустимый до 45° ; α_4 – рекомендуемый угол обзора 90°

При выполнении расчета дистанции обслуживания угловой размер считываемых цифровых знаков шкалы следует принимать равным 20 – 40'; угловой размер деления шкалы равен 8 – 9'. Угловой размер основных символов мнемосхемы должен быть не менее 20'. При угле обзора прямолинейного щита, превышающем 90° , боковые панели разворачивают по отношению к оператору. При компоновке щитов следует стремиться к тому, чтобы

каждая панель щита была перпендикулярна линии глаз оператора. Оптимальной является многогранная форма щита, вписывающегося в часть дуги окружности (рис. 4.6).



a



б

Рис. 4.6. Примеры компоновки центрального щита [2]:

a – многогранный фронт щита; *б* – угловой фронт щита,

1 – щит панельный с каркасом двухсекционный, закрытый с левой стороны, ЩПК-2-3Л; 2 – щит панельный с каркасом двухсекционный с поворотными рамами ЩПК-2; 3 – станив двухсекционный С-2; 4 – вставка угловая ВУ, 5 – щит панельный с каркасом трехсекционный ЩПК-3; 6 – станив плоский СП, 7 – щит шкафной малогабаритный ЩШМ; 8 – щит панельный с каркасом трехсекционный, закрытый справа, ЩПК-3-3П; 9 – панель вспомогательная с дверью ПнВ-Д; 10 – панель вспомогательная ПнВ; 11 – пульт левый П-Л, 12 – пульт средний П-С; 13 – пульт правый П-П

При обслуживании щита с приборами, информация с которых часто считывается одним оператором (диспетчером), радиус части окружности, в которую вписывается щит, не должен быть более 5 м. Рабочее место оператора (диспетчера) располагается в центре окружности. Рекомендуемый угол обзора многогранного щита для одного оператора – до 120° , максимальный 180° . При этом на крайних щитах устанавливают средства информации, используемые наиболее редко.

Номенклатура панельных щитов с каркасом, а также вспомогательных щитов конструкций позволяет выполнять центральный щит практически любой формы в плане (рис. 4.5). При этом рекомендуется: повороты щита по фронту выполнять под углом $15, 30, 45^\circ$; примыкание торцевой части щита к фронтальной выполнять под углом 90° .

В отдельных случаях, обусловленных требованиями технической эстетики, допускается примыкание торцевой части щита с фронтальной с углом поворота, отличным от 90° .

Повороты пультов по фронту следует выполнять под углами 15 и 45° . Повороты фронта центрального щита и пультов должны быть выполнены с применением угловых вставок (рис. 4.6, 4.7).

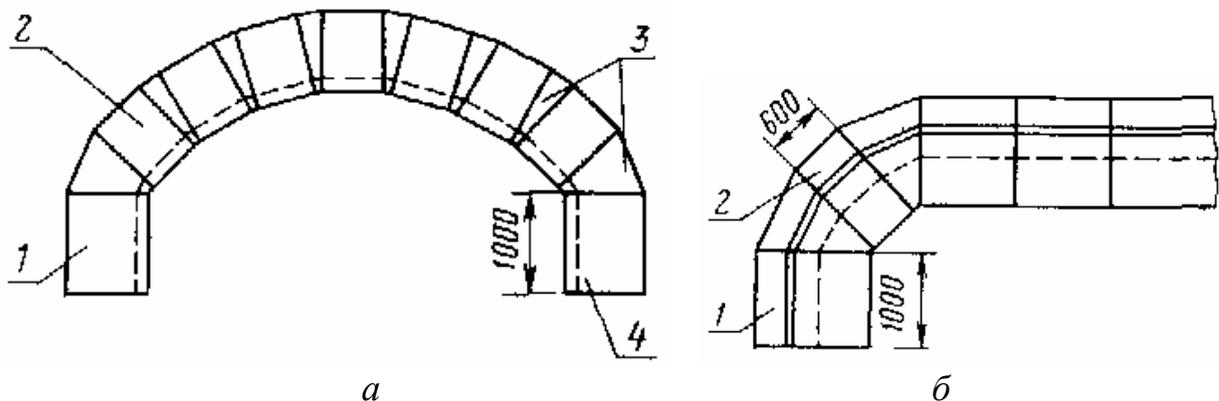


Рис. 4.7. Примеры компоновки пультов [1]:

- a* – многогранный фронт пульта; *б* – угловой фронт пульта;
 1 – левый пульт; 2 – средний пульт; 3 – угловая вставка с пультом;
 4 – правый пульт

На рис. 4.8 показан примерный план расположения щитов панельного типа в помещении, где кроме операторов бывают посторонние лица. Поэтому помещение за щитом изолировано и имеет дверь.

При установке щитов разных типов и поставщиков в линии фронта центрального щита необходимо обеспечивать идентичность выполнения их фасадов в части цветового решения, отделки поверхности, надписей и т.п.

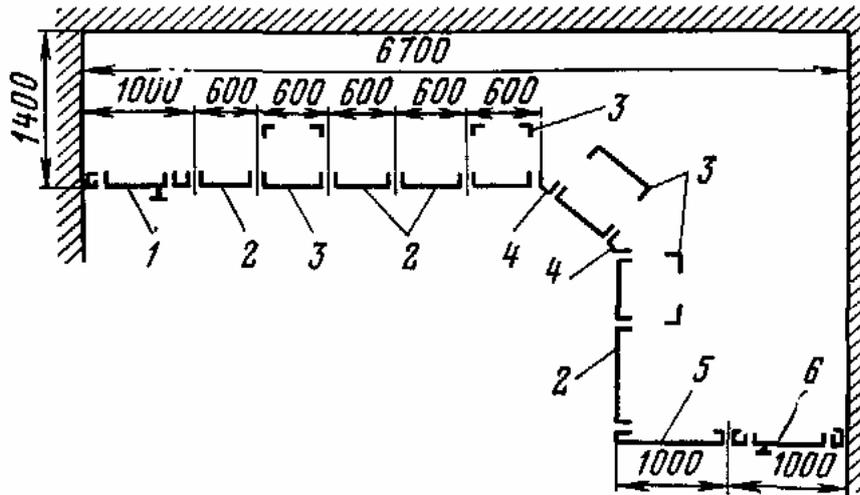


Рис. 4.8. Примерный план расположения щита [6]:

- 1 – вспомогательная панель с левой дверью; 2 – панели щитов;
 3 – панели щитов с каркасом; 4 – вставки угловые;
 5 – вспомогательная панель; 6 – вспомогательная панель с правой дверью

Для установки щитов и статов в специальных помещениях предусматривают двойные полы, позволяющие прокладывать линии связи в пределах помещения в любых необходимых направлениях.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте назначение и обрисуйте конструкцию щитов и пультов.
2. Приведите примеры стандартных щитов и пультов.
3. Поясните расположение приборов и аппаратуры на фасадных панелях щитов и пультов.
4. Нарисуйте пример компоновки щитов и пультов в щитовых помещениях.

5. СХЕМЫ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТРУБНЫХ ПРОВОДОВ

На этих схемах изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, командные, питающие, продувочные и дренажные трубопроводы, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин. На чертежах этих схем в виде условных обозначений в соответствии с действующими стандартами показываются [1]:

- отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
- приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- щиты, пульты, стивы и т.п.;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников.

Схемы внешних электрических и трубных проводок содержат также сведения, которые позволяют установить, на основании какого чертежа следует выполнять установку прибора или щита на месте монтажа, их позиции по заказной спецификации и сводную спецификацию кабелей, проводов, соединительных и разветвленных коробок, труб и арматуры, предусмотренных данной схемой.

В зависимости от принятой схемы автоматизации и применяемых в ней приборов и средств автоматизации их соединяют между собой с помощью электрических, пневматических или гидравлических линий связи. Преобладание того или иного энергетического носителя определяет характер схем внешних соединений. На практике встречаются следующие разновидности схем внешних соединений: трубных проводок, электрических проводок; совмещенные схемы электрических и трубных проводок.

На чертеже схем внешних соединений показывают электрические и трубные связи между отдельными элементами системы автоматики - щитами, пультами, отдельно установленными соединительными коробками, приборами, средствами автоматизации и т.п.

Примеры выполнения схем внешних соединений электрических проводок приведены на рис. 5.1.

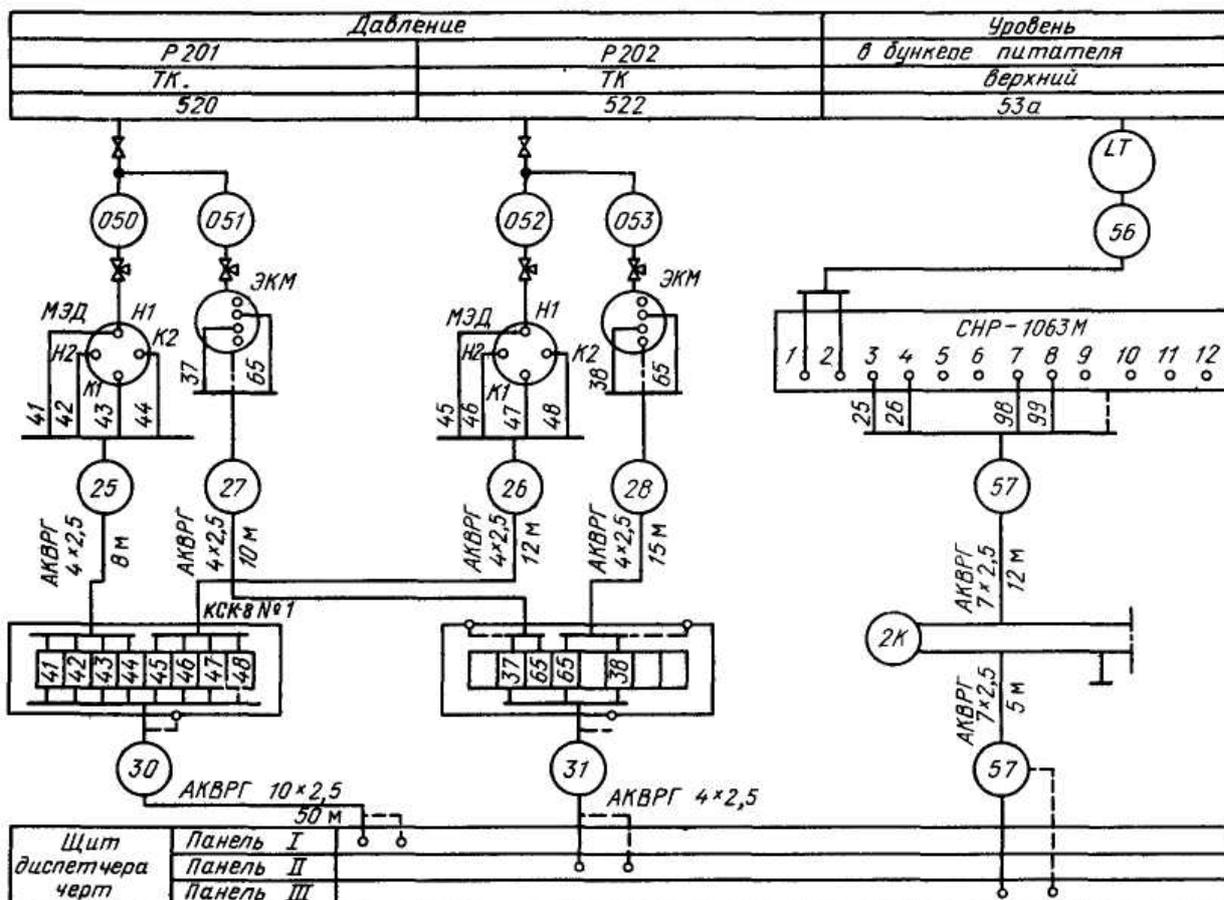


Рис. 5.1. Фрагмент схемы внешних соединений электрических проводок [1]

Связи изображают линиями: электрические - сплошными, а трубные в зависимости от назначения (пневмические, гидравлические, вакуумные и т.п.) - соответствующими условными обозначениями. Шкафы, пульты, отдельные приборы и аппараты условно обозначаются прямоугольниками.

На этом же чертеже выполняют монтажные схемы присоединения жил проводов (кабелей) к соединительным коробкам, конечным выключателям, указателям уровня и другим приборам и аппаратам, не показанным на чертежах схем соединительных щитов и пультов.

Каждой линии связи присваивается свой номер, проставляемый внутри окружности. Номера линий связи, отходящих от щитов и пультов, должны соответствовать номерам в чертежах схем соединений. Не должно быть двух одинаковых номеров, относящихся к разным линиям связи.

Линии связи между отдельными элементами оборудования устанавливаются по планам и разрезам чертежей технологической и других частей проекта исходя из наименьшей затраты кабельно-проводниковой продукции и металлических труб. Перед выполнением схемы все элементы системы автоматики должны быть соответственно расположены на чертежах для выявления наиболее оптимальных их связей друг с другом.

Номера, которые проставляют на каждой линии связи, указывают позицию в журнале электрических и трубных проводок, где приводятся их ха-

рактеристики - марка, площадь сечения и длина проводки.

Схема внешних соединений выполняется без масштаба, в удобном для пользования виде. Однако при размещении элементов автоматики на чертеже следует соблюдать принцип их относительного расположения в пространстве.

Кроме схем внешних электрических и трубных проводок, выполненных графическим способом, в проектах автоматизации могут встретиться схемы соединений и подключений внешних проводок, выполненные табличным способом.

Планы расположения средств автоматизации и электрических и трубных проводок (в дальнейшем – монтажные чертежи электрических и трубных проводок) проводок являются основными рабочими чертежами проекта автоматизации. Это документы, показывающие расположение приборов и средств автоматизации и взаимосвязь между ними на планах расположения технологического оборудования и трубопроводов автоматизируемого объекта. Приборы и средства автоматизации с относящимися к ним трубными и электрическими проводками изображают на чертежах поэтажных планов и разрезов зданий и сооружений. Число планов и разрезов по отдельному зданию или сооружению может быть различным в зависимости от насыщенности установки приборами и средствами автоматизации, трубными и электрическими проводками, от их расположения на объекте.

В общем случае на монтажных чертежах электрических и трубных проводок приводят [1, 2]:

- контуры здания объекта, цеха и промышленной площадки с указанием каналов, планировочных отметок, а также обозначений осей и рядов колонн, выполненных тонкими линиями;
- отборные устройства, первичные приборы и регулирующие органы, расположенные на технологическом оборудовании и трубопроводах;
- приборы, регуляторы и исполнительные механизмы, электроаппаратуру и другое оборудование, устанавливаемое вне щитов;
- щиты и пульты автоматизации;
- соединительные и проходные коробки, коробки свободных концов преобразователей термоэлектрических (термопар), термостаты;
- электрические провода и кабели в защитных трубах, лотках, коробах и т.д., а также трубопроводы к приборам и средствам автоматизации (СА);
- спецификацию монтажных изделий и материалов;
- таблицу условных графических обозначений, если применены нестандартные обозначения;
- технические требования и пояснения;
- основную надпись (штамп).

Благодаря тому, что электрические и трубные проводки на монтажных чертежах совмещены с контурами и отметками строительной части объекта, при чтении чертежей удается получить четкое представление о местах про-

кладки проводок. Монтажные чертежи, как правило, выполнены в том же масштабе, что и чертежи поэтажных планов, т.е. 1:100 или 1:50 результате сохраняются реальные пропорции между длинами проводок и размерами строительных элементов зданий и сооружений. Масштаб монтажного чертежа позволяет определить ориентировочную протяженность той или иной линии связи между приборами и средствами автоматизации. Наличие на монтажных чертежах изображений технологического оборудования и трубопроводов, а также приборов и средств автоматизации создает хорошую ситуационную картину и позволяет представить себе объект автоматизации в целом. В качестве примера на рис. 5.2, а показаны (слева направо): общее обозначение щита, щит из нескольких панелей, коробка без зажимов, коробка с зажимами, пост кнопочный на две кнопки, пост кнопочный на три кнопки, общее обозначение разъемного соединения. Вообще любое оборудование может быть изображено прямоугольником, в который вписывают необходимый символ, номер или буквы, значения которых пояснены в примечаниях и таблицах.

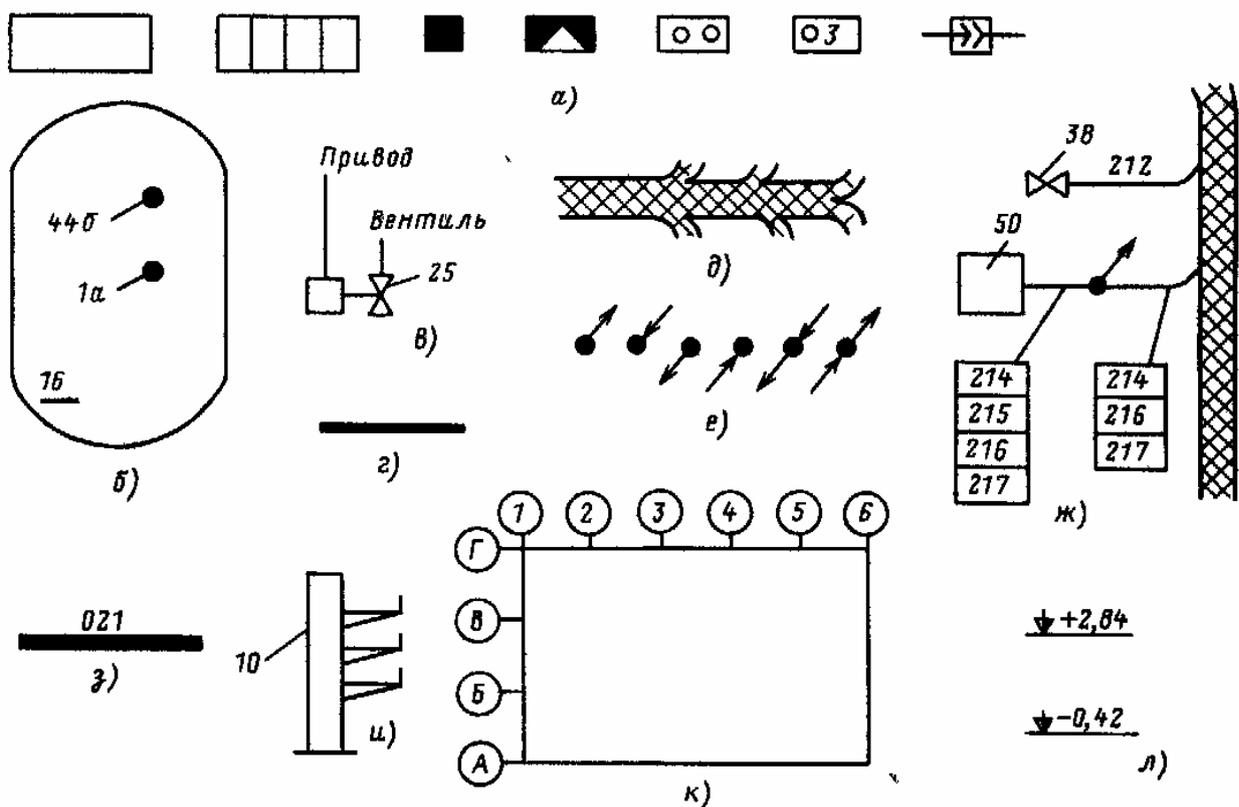


Рис. 5.2. Обозначения щитов, пультов и других средств автоматизации, мест установки первичных приборов и отборных устройств, проводов, кабелей и их потоков, расположение осей отметок строительных конструкций [2]

Технологическое оборудование обозначают в виде контуров тонкими линиями, а номер позиции по спецификации технологической части проекта

подчеркивают (на рис. 5.2, б изображения резервуара 16),

Средства автоматизации (СА), относящиеся к системе автоматизации, имеют номера позиций, состоящие из цифр и букв (или из двух цифр, разделенных знаком дефис), например 1а и 44б (или 1-1 и 44-2) на рис. 5.2, б. Отборные устройства, первичные приборы, датчики, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы, обозначают зачерненными точками без стрелок. Точки со стрелками (пояснения к рис. 5.2, е) имеют другое значение.

Средства автоматизации, относящиеся к технологической части, имеют номера позиций, содержащие только цифры без букв, например 25 на рис. 5.2, в. Позиции записывают на поле чертежа, не заключая в квадраты, прямоугольники, окружности и т.п., а выноски к позициям вычерчивают без полок.

Линии электрической связи (кабели, потоки проводов) изображают линиями различной толщины (рис. 5.2, з, э), которые могут разветвляться на несколько линий (рис. 5.2, д), пространство между которыми заштриховывают.

Линии, идущие на другие отметки, показаны на рис. 5.2, е. Слева направо изображены: линии, уходящая вверх, приходящая сверху и уходящая вниз, приходящая снизу и уходящая вниз, приходящая снизу и уходящая вверх.

Линии электрической связи маркируют арабскими цифрами без нулей (212, 214 – 217 на рис. 5.2, ж), либо заключают в прямоугольники (214 – 217), либо записывают над изображением линии связи (212).

Трубные линии связи имеют перед номером 0, например 021 (рис. 5.2, з).

Монтажные изделия и материалы имеют позиции по спецификации, которые записывают на полках линий-выносок (рис. 5.2, и).

Горизонтальные оси на строительных чертежах обозначают русскими прописными буквами, счет идет снизу вверх. Оси, расположенные на чертеже вертикально, нумеруют арабскими цифрами, счет – слева направо (рис. 5.2, к). Отметки отсчитывают от нулевой (0.00) и выражают в метрах. На рис. 5.2, л отметка + 2,84 лежит выше (+) отметки 0.00 на 2,84 м, а отметка – 0,42 расположена ниже (-) отметки 0.00 на 0,42 м. Расстояние между отметками $2,84 - (-0,42) = 3,26$ м.

На рис. 5.2, ж показаны: прибор 50, вентиль 38, групповая линия связи, состоящая из четырех линий 214-217. Кабель 215 уходит вверх (точка со стрелкой), далее идут кабели 214–216 и 217, вливающиеся в групповую линию связи (лентообразная линия), в нее же входит кабель 212.

Чертежи электрических и трубных проводок выполняют на основании [1]:

1) архитектурно-строительных чертежей объекта, цеха, площадки с указанием проемов, каналов, закладных устройств и т.п.;

2) чертежей технологической части объекта, касающихся размещения технологического оборудования, трубопроводов с врезанными в них отборными и закладными устройствами, а также регулирующими запорными органами. Все перечисленные средства автоматизации указывают и координируют

ют на чертежах технологической части проекта;

- 3) принципиальных схем автоматизации;
- 4) схем внешних соединений электрических и трубных проводок;
- 5) чертежей щитов, пультов, стативов.

Чтение монтажных чертежей проводок является завершающим этапом рассмотрения чертежей проекта автоматизации объекта. Поэтому специалист, читающий монтажный чертеж проводок, уже имеет необходимую информацию об объекте автоматизации. Из чертежей технологической части известна в общих чертах технология данного производства, имеются сведения о средах, заполняющих технологические трубопроводы. Известна также расстановка приборов и средств автоматизации на технологическом оборудовании и трубопроводах.

Из принципиальных схем автоматизации, схем электрических и трубных проводок, а также чертежей щитов, пультов, стативов известны типы примененных приборов и средств автоматизации, а также взаимосвязи между ними. Кроме того, предыдущее значение схем позволило уяснить маркировку приборов и средств автоматизации, а также трубных и электрических проводок. Поэтому на монтажном чертеже нетрудно отыскать отборные устройства, первичные приборы и регулирующие органы, расположенные на том или ином технологическом оборудовании или трубопроводах.

Спецификация монтажных изделий и материалов является неотъемлемой частью монтажного чертежа. Ее размеры размещают в правой части над основной надписью. В спецификацию вносят основные монтажные изделия и материалы, трубные блоки, коробка, мосты, лотки и узлы крепления их к конструкциям зданий и сооружений. Всем специфицируемым монтажным изделиям и материалам присваивают позиции, которые указывают как в спецификации, так и на полках линий-выносок, располагаемых на основном поле чертежа. Кроме того, в спецификации вносят обозначений и число монтажных изделий и материалов.

Существует определенный порядок записи в спецификацию монтажных изделий и материалов, который позволяет легко ориентироваться в ней и быстро отыскивать требуемое изделие. Последовательность записи в спецификацию монтажных изделий (конструкций) и материалов следующая: блоки трубные, коробка стальные, мосты, лотки, кабельные конструкции, швеллеры, уголки, листы, полосы и т.д.; крепления блоков трубных или труб, коробов стальных, мостов, лотков, крепления одиночных труб и кабелей, проходы коробов стальных через стены и перекрытия; проходы трубных и электрических проводок через открытые проемы в стенах; проходы трубных, и электрических проводок уплотненные через стены и перекрытия; проходы пневмокабелей уплотненные через стены; проходы трубных или кабельных одиночных проводок через стены и перекрытия.

При большой насыщенности монтажного чертежа спецификацию выполняют на отдельных листах монтажных чертежах содержат ссылки на чертежи, послужившие основой, для составления данного монтажного чертежа,

и необходимые уточнений по размещению проводок на объекте.

Рассмотрением монтажных чертежей электрических да трубных проводок завершается изучение проекта автоматического управления технологическими процессами. Пример выполнения монтажного чертежа приведен на рис. 5.3.

Контрольные вопросы

1. Поясните назначение схем внешних электрических и трубных проводок.
2. Приведите пример маркировки линий связи на схеме внешних соединений электрических проводок на рис. 5.1.
3. Приведите пример обозначения мест установки первичных приборов и отборных устройств на монтажных чертежах.
4. Приведите пример обозначения проводов, кабелей и их потоков, расположение осей отметок строительных конструкций на монтажных чертежах.
5. Приведите пример обозначения щитов, пультов и других средств автоматизации на монтажных чертежах.

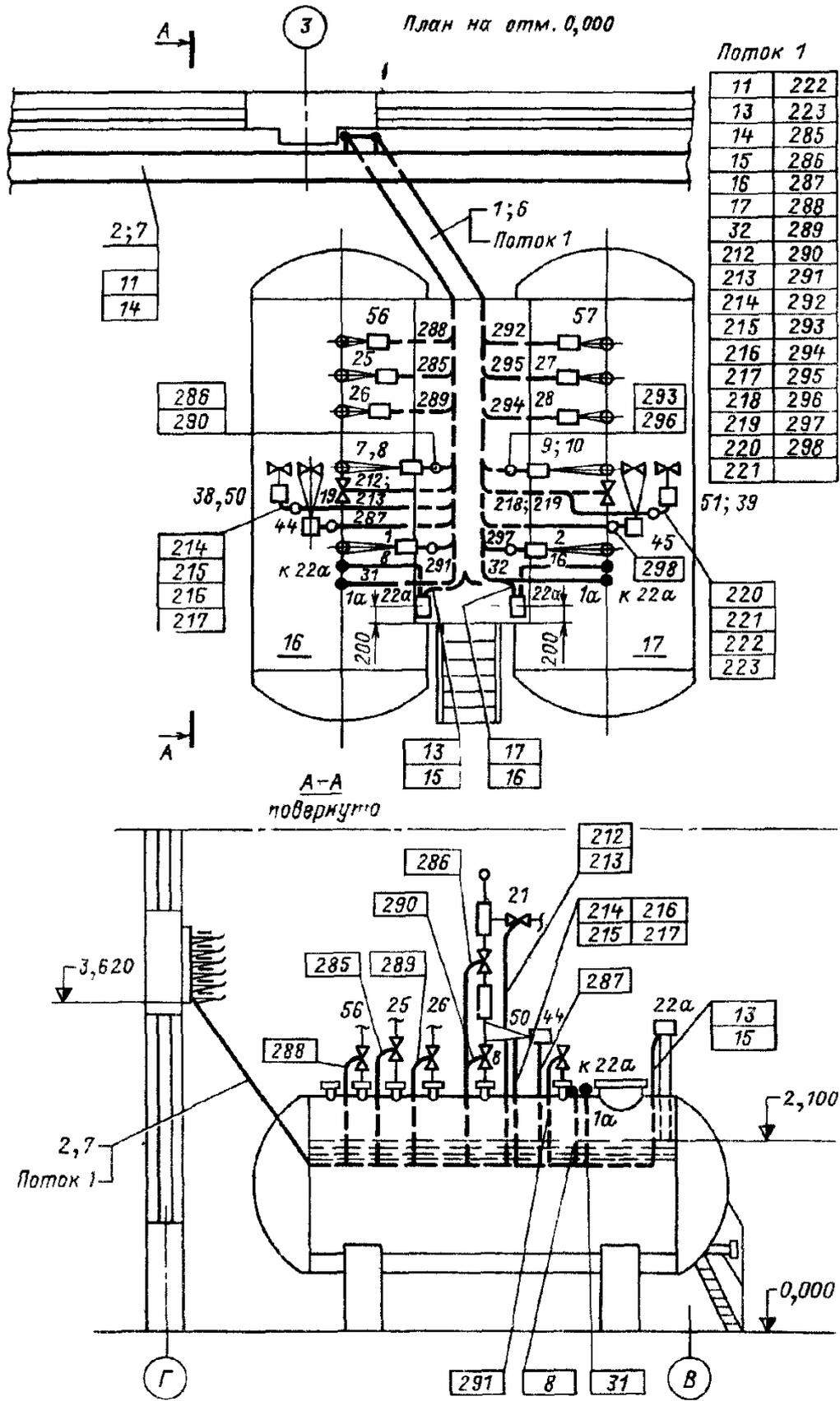


Рис. 5.3. Фрагмент монтажного чертежа электрических и трубных проводов с применением мостов кабельных [1]
6. АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ И

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами относятся к человеко-машинным системам. В состав такой системы «человек-машина-среда» (ЧМС) входит человек-оператор (группа операторов), машина, посредством которой осуществляется трудовая деятельность с учетом воздействия производственной (окружающей) среды. Машина представляет собой совокупность технических средств, управляемых человеком-оператором в процессе деятельности для преобразования одного вида энергии в другую. Производственная (рабочая) среда - совокупность физических, химических, биологических, социально-психологических и эстетических факторов внешней среды, воздействующих на человека. Возможная ошибка человека - случайное событие, произошедшее в системе «человек-машина-среда» и состоящее в неправильном восприятии психически и физиологически здоровым человеком отображенной информации (сенсорная реакция), неправильного решения (логическая реакция) или неправильной реализации решения (моторная реакция). Эргономические исследования показали, что в ЧМС человек-оператор часто по надежности является самым слабым звеном (пресловутый «человеческий фактор»). Условия производственной среды, учет антропологических, психофизиологических и эстетических требований при проектировании системы и создание комфортных условий труда являются факторами, непосредственно влияющими на надежность работы человека.

Приведенные ранее рекомендации по компоновке приборных панелей, пультов, выполнению мнемосхем являются лишь частью вопросов, решаемых при проектировании пунктов управления и их оборудования.

Во многом работоспособность, надежность, точность и быстрота действий оператора зависит от принятых архитектурных, компоновочных и инженерных решений пунктов управления.

Проектирование помещений пунктов управления должно быть подчинено задаче создания наиболее благоприятных условий для успешной деятельности оператора, отвечающих не только техническим нормам, но и требованиям инженерной психологии и технической эстетики.

6.1. Подход к разработке архитектурно-художественного проекта пункта управления

Разработка архитектурно-художественного проекта пункта управления является задачей специального проектирования и выходит за рамки проектирования систем автоматизации, выполняемого в объеме строительных норм и правил [1].

Представленные ниже сведения ограничиваются представлением о создании архитектурно-художественного проекта пункта управления и помочь специалистам по автоматизации производственных процессов грамотно

и по возможности полно сформулировать задание на проектирование, в котором нашли бы отражение строительные, архитектурные, компоновочные, сантехнические и электротехнические требования, предъявляемые к этим помещениям.

1. Художественное конструирование интерьера пункта управления начинается с компоновки оборудования. Исходя из назначения и характеристики оборудования, а также функций оператора и особенностей помещения пункта управления намечается предметно-пространственное окружение оператора.

2. Рациональная организация интерьера заключается в оптимальной компоновке оборудования автоматизации и минимизации числа элементов, с которыми непосредственно контактируют операторы в процессе оперативного управления технологическим процессом.

Рациональная организация предметно-пространственного окружения оператора зависит от его деятельности в различных режимах работы. Необходимо определить функции и последовательность действий оператора в нормальном режиме, в возможных аварийных ситуациях; проанализировать каждое действие оператора, количество и качество информации, времени для принятия решения и выполнения действия и т.д.

3. На основе такого анализа и частоты использования отдельных элементов оборудования намечается разделение пространства операторского помещения на *функциональные* зоны.

Например, могут быть выделены зоны:

- активного оперативного контроля и управления, где устанавливаются мониторы и пульта управления, и т.п.;
- компоновки аппаратуры для периодического анализа и выработки параметров оптимальных режимов работы системы;
- общей информации со световой и звуковой сигнализацией;
- отдыха (кресло, журнальный столик, подставки для цветов, аквариум и др.).

Разделение на такие зоны целесообразно, когда жесткая фиксация оператора в рабочей позе сидя, в окружении кольца пультов и щитов (производственная информация и органы управления максимально приближены к оператору) не оправдана характером его деятельности и способствует лишь усугублению нервно-эмоционального напряжения оператора, отрицательно сказываясь на точности, скорости и надежности его действий (например, когда 80 % рабочего времени оператора составляет период ожидания, а 20% – время активных действий).

Возможен другой вариант разделения:

- рабочая зона, ограниченная комплексом функциональных элементов рабочего места оператора;
- вспомогательная зона – пространство, непосредственно прилегающее к обратной стороне щита управления, необходимое для работ по наладке

и контроль приборов и аппаратуры;

- зона отдыха – пространство, непосредственно прилегающее к рабочей зоне с лицевой стороны щита управления.

4. Между геометрическими формами оборудования и интерьера помещения пункта управления должно быть найдено правильное соотношение.

В целом геометрическая форма предметно-пространственного окружения оператора должна не только обеспечивать максимум удобств оператору, но и целенаправленно организовывать его зрительное восприятие, производственную мыслительную деятельность, эмоциональный фон, ритм в работе и т.д.

5. Пространственная и цветовая композиции интерьера пункта управления строятся на основе выделения главного функционального элемента и подчинения ему всех второстепенных и вспомогательных элементов с целью создания завершенного архитектурного образа.

Основным функциональным элементом интерьера помещения является рабочая зона. Главная ось рабочей зоны может быть осью, вокруг которой разворачивается пространственная композиция помещения.

Цветовая схема интерьера должна строиться на принципе создания цельного гармоничного объекта с учетом эмоциональных, психологических, физиологических и информационных свойств отдельных цветов.

6. Площадь помещения пункта управления определяется как сумма необходимых площадей всех функциональных зон.

Рекомендуется, чтобы расстояние от постоянного места нахождения оператора (стола, пульта управления) до щита лежало в пределах 5 м, что определяется условием видимости шкал приборов.

Расстояние от плоскости экрана монитора до оператора 0,6-0,8 м. Рекомендуются мониторы с жидкокристаллическим экраном с диагональю не менее 17 дюймов.

Обзор приборов с мелкой шкалой и ножевидной стрелкой рекомендуется производить с расстояния не более 1–2 м, с хорошо видимой шкалой – 2–4 м, мнемосхемы – 4–5 м.

Если на щите имеются приборы со шкалами различной видимости, то дистанция обзора должна определяться по наиболее важным и часто считываемым приборам.

Точность восприятия показаний приборов зависит также от того, под каким углом они рассматриваются. Наилучшее восприятие обеспечивается при угле обзора 30° (15° к нормали щита). При рассмотрении показаний прибора сбоку допустимый угол обзора составляет 45° к нормали щита, при больших углах получают значительные искажения.

8. Форма многопанельных щитов и пультов в плане зависит от их фронтальной длины, характера и частоты использования средств информации и органов управления, установленных на них.

Наибольшее распространение получили щиты прямолинейной, многогранной, трапециевидной и П-образной форм.

Щиты прямолинейной формы применяются при сравнительно не-шой длине, когда они хорошо обзрываются с рабочего места оператора под углом, не превышающим 90° . Щиты многогранной, трапециевидной и П-образной форм применяются, когда угол обзора прямолинейного щита превышает 90° . При многогранной форме щита панели разворачиваются по отрезку дуги окружности, при трапециевидной – в виде трапеции, при П-образной – в виде буквы П. Во всех этих случаях рекомендуемый угол обзора щитов для одного оператора должен находиться в пределах 120° . Пульты, используемые в системах автоматизации, чаще всего имеют прямолинейную или секторную форму, что определяется главным образом условием досягаемости органов управления аппаратурой из принятой рабочей позы оператора.

6.2. Комфортные условия

На состояние оператора и его рабочую деятельность большое влияние оказывают различные факторы окружающей среды: состав, температура и влажность воздуха, барометрическое давление, освещение, отделка помещения и оборудования, шум, вибрация и др. В разных условиях окружающей среды работа органов чувств оператора, восприимчивость к жаре, холоду, реакции на присутствие в воздухе водяных паров, токсичных газов, изменение атмосферного давления, вибрация, шум будут различными.

При проектировании пунктов управления необходимо учитывать указанные факторы, определяющие так называемые комфортные условия производственной среды.

Температура. Работа организма, связанная с борьбой против перегрева и переохлаждения тела, является дополнительной нагрузкой на оператора и снижает его работоспособность.

В помещениях пунктов управления температура должна быть не ниже $+15^\circ\text{C}$ (при температуре наружного воздуха -60°C) и не выше $+23^\circ\text{C}$ (при температуре наружного воздуха $+60^\circ\text{C}$).

Комфортные условия для большинства людей определяются температурой $+21^\circ\text{C}$ (физиологически нейтральная температура) при влажности в пределах 30 – 70%.

Влияние температуры на организм, как правило, сочетается с влиянием относительной влажности воздуха.

Влажность воздуха влияет главным образом на теплорегуляцию организма. Особенно неблагоприятно отражается высокая относительная влажность, превышающая 70 – 75 % при температуре окружающего воздуха, близкой к $+30^\circ\text{C}$ и выше. В этих условиях теплоотдача путем испарения пота с поверхности тела крайне затруднена, что приводит к перегреванию организма. Реже в рабочих условиях приходится встречаться с пониженной относительной влажностью воздуха. Если относительная влажность воздуха понижается до 20 – 25%, такой воздух вызывает ощущение сухости слизистой оболочки верхних дыхательных путей.

Оптимальное значение относительной влажности воздуха находится в пределах 40-60%.

Вентиляция. Движение воздуха имеет большое значение для терморегуляции организма. При движении воздуха (даже при неизменной его температуре) резко увеличивается теплоотдача с поверхности тела путем конвекции, что снижает температуру кожи.

Движение воздуха при низкой температуре является неблагоприятным фактором, поскольку усиление теплоотдачи ведет к быстрому переохлаждению тела. Человек начинает чувствовать воздушные потоки при скорости около 0,25 м/с. Рекомендуемая скорость движения воздуха для помещений пунктов управления 0,25 – 0,5 м/с.

Шум оказывает неблагоприятное действие не только на органы слуха, но и на всю нервную систему человека, вызывая общее утомление, понижение работоспособности, головные боли и пр. Наиболее раздражающими являются звуки с частотой 4000 Гц и выше. Низкие звуки относительно безвредны даже при большой их силе. Резонанс резко усиливает вредное действие звука. Разборчивость речи в условиях шума определяется его уровнем в диапазоне частот 500 – 4000 Гц. При увеличении в помещении уровня шума общее число речевых сообщений, передаваемых друг другу находящимися в этом помещении людьми, уменьшается, а число требований повторить сообщения увеличивается.

В помещениях, в которых должны устанавливаться громкоговорители, уровень шума допускается не более 70 дБ; в помещениях с объемом до 140 м³ при применении голосовых средств связи уровень шума не должен превышать 60 дБ.

Вибрация. При оценке влияния вибрации на организм человека наиболее важными факторами являются частота и амплитуда вибрации.

Пороговая частота вибраций составляет 18 Гц, при меньшей частоте вибрация воспринимается в виде отдельных толчков. Верхний порог частоты воспринимаемых вибраций находится на уровне 1500 Гц. При дальнейшем повышении частоты вибрации возникает ощущение равномерного прикосновения определенной силы. Наименьшая воспринимаемая амплитуда вибрации составляет около 0,2 мм. По мере увеличения амплитуды ощущение становится все более неприятным, а когда амплитуда вибрации достигает 1,3 мм наступает физиологический предел переносимости. Вибрации, под воздействием которых может оказаться оператор в производственных условиях, могут быть вызваны главным образом сотрясением пола и других элементов зданий вследствие ударного действия, например, технологического оборудования, двигателей и т. п. Передаваясь телу человека, вибрации отражаются на нормальном функционировании отдельных органов и вызывают общее утомление оператора.

Практически установлено, что вибрации с частотой 75 – 120 Гц с амплитудой 0,01 мм не ощущаются; 60 – 75 Гц с амплитудой 0,01 – 0,02 мм временно отвлекают от работы и раздражают; 50-65 Гц с амплитудой 0,02 –

0,03 мм отвлекают постоянно; 50–65 Гц с амплитудой более 0,03 мм создают невозможные условия для работы.

Необходимо также отметить, что при вибрациях, воздействующих на человека с амплитудой 0,025 мм при частоте от 10 до 130 Гц, существенно уменьшается острота зрения (быстро уменьшается возможность различать показания приборов даже в условиях нормального освещения).

Цвет является дополнительным средством архитектурной композиции помещения. Основной характеристикой цвета как дополнительного средства выразительности является контрастное соотношение цветовых пятен по светлоте (светлота – это большая или меньшая близость цвета к белому; все цвета обладают определенной светлотой, например, желтый светлее синего и т.д.; светлота, или относительная яркость, – это отношение отраженного или пропущенного света к падающему).

Прежде чем принимается решение о цветовой окраске интерьера и оборудования пункта управления, эти вопросы решаются в черно-белом варианте. Для этого все элементы пункта управления последовательно разделяются на объект и фон. Например: оборудование операторского пункта – объект, архитектурно-строительные конструкции – фон; приборный щит – объект, прочее оборудование и интерьер – фон; приборы, установленные на щите – объект, плоскость щита и все другое, что попадает в поле зрения оператора при считывании показаний приборов, – фон; стрелка и цифра прибора – объект, лицевая плоскость прибора – фон и т.д.

Затем выбираются оптимальные светлотные контрастные соотношения объекта и фона, а различные элементы пункта управления объединяют в единое гармоническое целое, не допуская появления в поле зрения оператора пестроты. Определив светлотные контрастные соотношения между отдельными элементами интерьера и оборудования, переходят к выбору хроматических цветовых отношений.

Необходимо отметить, что определение контрастных светлотных отношений и выбор тех или иных хроматических цветовых отношений требует большого художественного вкуса и знания характера эмоционального воздействия различных цветов на человека, другими словами, знания законов художественного конструирования. Неумелое использование цвета очень часто сводит на нет всю предшествующую работу по созданию эстетически выразительного и грамотно организованного с точки зрения инженерной психологии интерьера и оборудования пункта управления.

Освещение. Помещения пунктов управления должны, как правило, иметь естественное освещение. Сооружение пунктов управления без естественного освещения или с недостаточным по биологическому действию естественным освещением допускается, как исключение, в случае, когда это диктуется условием выбора рационального планировочного решения того или иного технологического комплекса.

Естественное освещение. Уровень освещенности интерьера зависит от отношения остекленной площади окна к площади пола пункта управления.

Оптимальное отношение составляет: при работе с мелкими деталями – 1:5, в прочих рабочих местах – 1:10.

При естественном освещении следует избегать попадания прямых солнечных лучей в помещение и особенно на рабочие поверхности пультов и щитов.

Искусственное освещение. В зависимости от зоны действия светильников и их расположения относительно освещаемых рабочих поверхностей различают установки местного и общего освещения. Местное освещение имеет ряд преимуществ, оно позволяет: направить световые лучи в определенной плоскости, чтобы исключить блики и тени на рабочей поверхности; получить высокий уровень освещенности на вертикальных и наклонных поверхностях; равномерно осветить одинаковое оборудование; выделить из интерьера и оборудования только функционально важные места.

В практике устройства освещения интерьера и оборудования местное освещение часто используется совместно с общим освещением.

При зонировании помещения по уровням освещенности различных функциональных мест следует стремиться к тому, чтобы глаз оператора находился в условиях меньшего уровня освещенности, чем объект зрительного восприятия.

Оптимальный уровень освещенности интерьера пункта управления зависит от характера работ, производимых оператором, и составляет: для считывания показаний приборов 550–1100 лк; для управления и ведения записей 220 – 550 лк; для осмотра и ремонта 100 лк; для прохода 20 – 50 лк.

При организации искусственного освещения, так же как и при организации естественного освещения, необходимо избегать появления бликов на приборных щитах и пультах.

6.3. Инженерно-технические требования к пунктам управления

Место размещения пунктов управления (встроенных в производственные помещения или вынесенных в отдельно стоящие здания, пристройки) в каждом конкретном случае определяется с учетом: особенностей технологического процесса, норм и противопожарных требований строительного проектирования, компоновочных и строительных решений, принятых в различных отраслях промышленности, удобства управления автоматизируемым объектом, простоты оборудования системы и экономических факторов (длины коммуникаций и т.п.).

Щитовые помещения, а также части зданий и сооружений другого назначения, в которых предусматривается размещение щитовых помещений, следует относить в соответствии с требованиями строительных норм и правил к помещениям с производством категории Г; эти помещения должны иметь I или II степень огнестойкости по противопожарным нормам проектирования зданий и сооружений.

Не допускается размещать щитовые помещения под и над помещениями производств категорий А, Б, Е.

Щитовые помещения не следует размещать под производственными помещениями с мокрым технологическим процессом, под душевыми, санузлами, под и над вентиляционными камерами общеобменной вентиляции.

Пункты управления не должны по возможности подвергаться влиянию вибрации, производственному шуму *к* воздействию магнитных полей, создаваемых электротехническими установками и оборудованием. Во всех случаях допустимые значения вибрации и шумов не должны превышать значений, приведенных в настоящем разделе. Необходимо также не допускать возникновения вибрации и шумов от работы оборудования самого щитового помещения (дребезжание аппаратуры, стекол и т.п.).

Наличие магнитного поля в месте расположения щитового помещения может вызывать дополнительную погрешность приборов, которая зависит от напряженности поля. Например, для некоторых типов потенциометров и уравновешенных мостов ГОСТ 7164 – 78 устанавливает, что изменение показаний приборов в процентах нормированного значения, вызванное влиянием внешнего магнитного поля напряженностью 400 А/м, образованного переменным током частотой 50 Гц, при самых неблагоприятных фазах и направлении поля не должно превышать $\pm 0,5\%$. Такое значение дополнительной погрешности для приборов класса 0,5 равно основной погрешности, что может оказаться неприемлемым.

Щитовые помещения допускается размещать рядом с распределительными устройствами, трансформаторными подстанциями, машинными и другими электротехническими помещениями *лишь при условии*, что силовое электрооборудование (электрические машины, выпрямительные и преобразовательные установки, трансформаторы, электрические силовые проводки) не оказывает недопустимого влияния на работу устройств систем автоматизации.

В технически обоснованных случаях щитовые помещения допускается располагать над указанными электротехническими помещениями. При решении вопроса о размещении щитовых помещений относительно распределительных устройств, трансформаторных подстанций и т.п. необходимо учитывать накопленный в различных отраслях промышленности опыт, так как для оценки влияния электротехнических установок на работу разнообразных устройств автоматики нет хорошо обоснованных практических рекомендаций. Поэтому нет достаточных оснований категорически запрещать располагать рядом помещения пунктов управления и распределительные устройства, равно как нельзя утверждать, что это не может иметь последствий с точки зрения нормальной работы систем автоматизации. В проектной практике во всех случаях рекомендуется избегать подобных компоновочных решений, однако, когда в них все-таки возникает необходимость, опыт эксплуатации аналогичных производств может во многом помочь в правильном выборе компоновочного варианта.

Между помещениями пункта управления и производственным должно быть обеспечено удобное сообщение. Коридоры, тамбуры, лестничные марши, ведущие в помещение пунктов управления, не должны затруднять транспортирование щитов и другого оборудования, устанавливаемого в них.

В необходимых случаях для транспортирования оборудования в помещение пунктов управления могут предусматриваться монтажные проемы (например, в стене или перекрытии), которые после окончания монтажных работ заделываются.

При установке щитов в щитовых помещениях необходимо выполнять требования действующих правил о допустимых ширине проходов между рядами щитов, расстояниях между токоведущими частями приборов и аппаратов, расположенных на противоположно установленных рядах щитов, и др.

Через щитовые помещения не следует прокладывать транзитные трубопроводы отопления, водопровода, канализации, вентиляции, технологические трубопроводы, трубопроводы с легковоспламеняющимися жидкостями, газотрубопроводы.

В качестве средств пожаротушения в пунктах управления следует применять углекислотные и порошковые огнетушители.

Прокладка электрических и трубных проводок в помещениях пунктов управления должна быть скрытой. Для этой цели могут предусматриваться специальные каналы либо использоваться двойные полы или кабельные полуэтажи. Вводы проводок в помещение должны быть надежно уплотнены. В местах перехода каналов из производственного помещения в помещение пункта управления, разделенных противопожарной стеной, должны предусматриваться перегородки из негорючих материалов.

Центральное водяное или паровое отопление, если оно удовлетворяет требованию поддержания постоянной температуры, в пределах щитового помещения должно выполняться цельными трубами без вентиля, фланцев и т.п.

Температура, влажность и давление воздуха в пунктах управления должны отвечать требованиям, приведенным в настоящем разделе.

Полы в щитовых помещениях должны быть неэлектропроводными, что позволяет значительно улучшить электробезопасность этих помещений. Кабельные каналы и двойные полы в щитовых помещениях должны перекрываться съемными негорючими плитами; допускается применение для этих целей паркетных щитов, которые должны быть защищены снизу асбестом и жстью. Полы не должны также допускать проникновение влаги и вредных газов. Расчетная нагрузка на пол при установке щитов и пультов может приниматься 500 кгс/м^2 . Потолки не должны иметь выступающих балок и других строительных деталей, нарушающих общую архитектурную композицию помещения. Хорошим решением является подвесной потолок со встроенными в него светильниками.

В рабочей зоне помещения (а по возможности и во всем пункте управления) не должно быть опорных колонн.

Выход из щитового помещения в производственные помещения с пыльной, сырой и химически активной средой должен выполняться через коридор или тамбур.

Помещения пунктов управления должны, как правило, иметь оконные проемы, обеспечивающие достаточное естественное освещение (в обоснованных случаях допускается проектировать эти помещения без окон).

В помещениях пунктов управления должно предусматриваться рабочее и аварийное освещение, осуществляемое от общей сети рабочего и аварийного освещения автоматизируемого объекта.

При выполнении освещения пунктов управления необходимо обеспечить равномерную освещенность лицевых плоскостей щитов и пультов, отсутствие на них бликов, теней, постоянство освещенности во времени, отсутствие пульсации светового потока и резких световых контрастов в помещении.

Освещенность помещений пунктов управления должна отвечать требованиям, приведенным в настоящем разделе. Освещенность от аварийных светильников должна составлять 10 % освещенности рабочего освещения.

В качестве светильников рекомендуется принимать люминесцентные источники белого света. Осветительная электропроводка должна, как правило, прокладываться скрытым способом.

Контрольные вопросы

1. Значение архитектурно-художественного оформления пункта управления в обеспечении надежности систем автоматизации.
2. На какие функциональные зоны может быть разделено пространство операторского помещения?
3. Назовите рекомендуемые расстояния от постоянного места нахождения оператора (стола, пульта управления) до плоскости прибора, монитора.
4. Перечислите комфортные условия производственной среды.
5. Какие инженерно-технические требования предъявляются к пунктам управления?

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОВОДКИ

7.1. Общие положения

Под термином «электропроводка» понимается совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок различают [1, 28]:

- открытые электропроводки – проложенные по поверхности стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений: непосредственно, в трубах, коробах, на лотках и т.п. (открытые электропроводки могут быть стационарными, передвижными и переносными);
- скрытые электропроводки – проложенные в конструктивных элементах зданий и сооружений: в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях – в трубах, замкнутых каналах, замоноличено и т.п.;
- наружные электропроводки – проложенные по наружным стенам зданий и сооружений, между ними, под навесами и т. п.: непосредственно (по стенам зданий и сооружений), в трубах, коробах, на лотках и т.п.

Электропроводки систем автоматизации выполняются, как правило, открытыми способами. Скрытая прокладка проводов и кабелей применяется в случаях, когда это диктуется требованиями архитектурного оформления помещений, а также в подливках полов, в фундаментах, при подходе к оборудованию. В данном разделе рассматриваются электропроводки систем автоматизации (цепей измерения, управления, питания, сигнализации и т.п.) напряжением до 380 В переменного и 440 В постоянного тока, прокладываемых в производственных помещениях и наружных установках.

7.2. Способы выполнения электропроводок

Электропроводки систем автоматизации выполняются кабелями и изолированными проводами (защищенными и незащищенными), как правило, следующими способами:

- 1) кабелями в производственных помещениях:
 - на кабельных конструкциях;
 - на лотках в непыльных помещениях (в том числе проводами);
 - в стальных коробах с открываемыми крышками (в том числе проводами);
 - в пластмассовых и стальных защитных трубах (в том числе проводами);
 - в каналах;
 - в кабельных этажах;

- в двойных полах;
- 2) кабелями в наружных установках:
 - на кабельных конструкциях;
 - на лотках;
 - в стальных коробах с открываемыми крышками (в том числе проводами);
 - в пластмассовых и стальных защитных трубах (в том числе проводами);
 - по эстакадам, в каналах, туннелях, коллекторах, блоках; в земле (траншеях);

В производственных помещениях кабели на кабельных конструкциях, на лотках, в коробах, а также провода в коробах и на лотках прокладываются по стенам и конструкциям зданий; кабели и провода в защитных трубах – открыто и скрыто с учетом области применения различных типов труб. Прокладка кабелей в полу и междуэтажных перекрытиях производится в каналах или трубах; заделка в них кабелей наглухо не допускается. Проход кабелей через перекрытия и внутренние стены выполняется в трубах или проемах; после прокладки кабелей зазоры в трубах и проемах заделываются легко пробиваемым несгораемым материалом.

В наружных установках кабели на кабельных конструкциях, на лотках, в коробах, в защитных трубах, а также провода в коробах и защитных трубах прокладываются по стенам и конструкциям зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам.

В кабельных сооружениях – эстакадах, каналах, туннелях, коллекторах, кабельных этажах прокладка кабелей выполняется по кабельным конструкциям или на лотках; допускается прокладка кабелей по дну каналов при глубине их не более 0,9 м.

Выбор способов выполнения электропроводок производится на основе технико-экономического анализа с учетом условий окружающей среды, назначения помещения, его архитектурного оформления, особенностей строительных конструкций, расположения оборудования и удобства эксплуатации. При любом способе прокладки электропроводки должны быть безопасны для жизни людей и не создавать угрозы возникновения пожара или взрыва.

Следует отметить, что сроки выполнения электромонтажных работ во многом зависят от принятого способа выполнения электропроводок, так как возможность индустриализации монтажа при различных способах неодинакова. Выбор способа выполнения электропроводок рекомендуется вести в следующей последовательности:

- а) в зависимости от условий окружающей среды выбираются допустимые марки проводов или кабелей и способ их прокладки;
- б) из возможных способов выполнения электропроводки отбираются те, предпочтительность которых определяется требованиями технологического процесса, удобства эксплуатации и технической эстетики;
- в) из отобранных способов выбирается наименее трудоемкий и экономически целесообразный.

По возможности, когда это не противоречит другим условиям, следует стремиться в электроустановках систем автоматизации применять те же виды электропроводок, которые применены в других электроустановках автоматизируемого объекта. Также в случаях, когда направление прокладки электропроводок систем автоматизации совпадает с направлением прокладки других электропроводок, рекомендуется выполнять их совмещенными (в общих каналах, туннелях, траншеях, на эстакадах). При этом должны соблюдаться условия совместной прокладки цепей различного назначения. Такие решения в большинстве случаев позволяют снизить затраты на строительство и производство монтажных работ, а также упростить последующую эксплуатацию объекта.

В большой мере на выбор электропроводок влияют условия окружающей среды. Рекомендации по способу прокладки наиболее употребительных в электропроводках систем автоматизации проводов и кабелей в зависимости от характеристики окружающей среды приведены ниже.

Электрические проводки, в том числе и электропроводки систем автоматизации, представляют собой определенную опасность в отношении пожара. Короткие замыкания, сопровождающиеся появлением открытой дуги, или недопустимый перегрев проводов и кабелей, в результате которого возможно воспламенение их изоляции и оболочек, могут привести к возгоранию конструктивных элементов зданий и сооружений. Поэтому при выборе вида электропроводки (открытая, скрытая) и способов прокладки должна учитываться не только характеристика окружающей среды, но и степень огнестойкости зданий, сооружений и отдельных конструкций, по которым прокладываются электропроводки.

Открытые электропроводки в стальных коробах, лотках, стальных защитных трубах допускается прокладывать непосредственно по конструкциям и поверхностям зданий и сооружений из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов.

Открытые электропроводки в пластмассовых защитных трубах из трудносгораемых материалов (винипластовых) могут прокладываться непосредственно по конструкциям и поверхностям зданий и сооружений из трудносгораемых материалов; по конструкциям и поверхностям из сгораемых материалов прокладка этих труб не допускается.

Открытые электропроводки в пластмассовых защитных трубах из сгораемых материалов (полиэтиленовых, полипропиленовых) выполнять не разрешается.

Скрытые электропроводки в стальных защитных трубах можно прокладывать непосредственно по конструкциям и поверхностям зданий и сооружений из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов.

Скрытые электропроводки в пластмассовых защитных трубах из трудносгораемых материалов (винипластовых) можно прокладывать по конструкциям и поверхностям из трудносгораемых и несгораемых материалов, а по конструкциям и поверхностям из сгораемых материалов с последующим

заштукатуриванием; пластмассовые защитные трубы из сгораемых материалов (полиэтиленовые, полипропиленовые) – только замоноличено, в бороздах и т.п.

Таким образом, можно сделать вывод, что электрические проводки с конструктивными элементами из негорючих материалов – электропроводки в стальных коробах, лотках и стальных защитных трубах можно прокладывать по строительным основаниям и конструкциям, относящимся к любой группе возгораемости, а электропроводки в пластмассовых защитных трубах необходимо прокладывать с указанными выше ограничениями.

При выборе способа выполнения электропроводок неизбежно возникает вопрос: чему отдать предпочтение – электропроводкам, выполняемым изолированными проводами, или кабельным электропроводкам? Этот вопрос должен решаться, прежде всего, исходя из экономических факторов, а также с учетом способа выполнения электрических проводок в других электроустановках автоматизируемого объекта и возможности поставки кабелей для систем автоматизации. Как уже отмечалось, во всех случаях следует стремиться применять *те же виды* электропроводок, что в установках электроснабжения и силового электрооборудования.

Трасса электрических проводок должна выбираться с учетом наименьшего расхода проводов и кабелей с соблюдением условий защиты от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждений электрической дугой соседних электропроводок.

При выборе трассы следует избегать также перекрещиваний с другими электропроводниками и трубопроводами любых назначений. Кабельные трассы в земле (траншеях) рекомендуется прокладывать *параллельно* дорогам и зданиям.

Для улучшения условий эвакуации людей в случае возникновения пожара не допускается прокладка электрических проводок по путям эвакуации (коридорам, лестничным клеткам и т.п.); при пересечении путей эвакуации электрические проводки должны быть заключены в стальные защитные трубы или стальные короба. Запрещается использовать вентиляционные каналы и шахты для прокладки электропроводок; допускается при необходимости пересекать вентиляционные каналы одиночными кабелями, заключенными в стальные трубы.

Открытые электропроводки рекомендуется прокладывать параллельно и перпендикулярно основным плоскостям зданий и сооружений.

Скрытые электропроводки могут прокладываться по кратчайшим расстояниям, если этому не препятствуют строительные особенности помещений и компоновка технологического оборудования и трубопроводов.

7.3. Выбор проводов и кабелей

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами.

Кабели подразделяются на следующие группы:

- 1) силовые кабели – для цепей питания силовых и осветительных установок на различные напряжения;
- 2) контрольные кабели – для цепей контроля и сигнализации на напряжение 660 В переменного тока или до 1000 В постоянного тока;
- 3) кабели управления – для цепей дистанционного и автоматического управления для сигналов малой мощности напряжением до 250 В переменного тока (частота до 1000 Гц) или постоянным напряжением до 350 В;
- 4) кабели монтажные – для межприборного монтажа средств измерений и автоматизации при напряжении до 500 В переменного тока (частота до 400 Гц) или до 750 В постоянного тока.

Контрольные кабели с медными или алюминиевыми жилами могут иметь от 4 до 61 жилы.

Кабели управления выпускают только с медными жилами площадями сечений от 0,2 до 1,5 мм² и общим числом жил (в том числе экранированных и неэкранированных) от 3 до 115.

Кабели монтажные выпускают с медными жилами площадями сечений 0,35; 0,5 и 0,75 мм² с общим числом жил от 2 до 14.

Кабели монтажные малогабаритные выпускают с медными жилами площадями сечений от 0,35 до 10 мм². Число жил в кабелях от 1 до 61.

Кабели различаются:

- 1) материалом жил (медные или алюминиевые);
- 2) материалом изоляции жил (резиновая, поливинилхлоридная, полиэтиленовая, фторопластовая, самозатухающий полиэтилен, кабельная бумага);
- 3) материалом защитной оболочки (свинцовая, поливинилхлоридная, резина, не распространяющая горение);
- 4) типом внешнего покрытия.

Кабели могут не иметь поверх защитной оболочки внешнего покрытия, могут иметь броню из плоских или профилированных стальных лент, стальной круглой проволоки. Броня может быть покрыта противокоррозионным покрытием или поверх брони может быть расположен наружный покров из кабельной пряжи, пропитанной противогнилостным составом. В отдельных случаях поверх брони располагается шланг из поливинилхлоридного пластика.

Учитывая решения об экономии меди, провода и кабели с медными жилами допускается применять в следующих случаях:

- а) в цепях термопреобразователей (термометров сопротивления) и преобразователей термоэлектрических (термопар);

б) в цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. (в том числе в цепях телемеханических устройств) напряжением до 60 В при сечении жил проводов и кабелей до $0,75 \text{ мм}^2$ (диаметр 1 мм);

в) для электропроводок систем автоматизации технологических процессов электростанций с генераторами мощностью от 100 МВт и более;

г) во взрывоопасных установках (в зонах классов В-I и В-Ia);

д) в установках, подверженных вибрации;

е) для питания переносного освещения и электрифицированного инструмента;

ж) для электропроводок систем автоматизации зрелищных предприятий (например, систем кондиционирования воздуха и т.п.), прокладываемых на сцене, арене, в киноаппаратной, светопроекционной, помещениях управления аккумуляторной, на чердаке, в зрительном зале с числом мест 800 и более;

з) для открытых электропроводок в чердачных помещениях со сгораемыми конструкциями.

Приведенные указания не распространяются на производства, отдельные установки и уникальные сооружения, для которых выбор материала жил проводов и кабелей определяется специальными требованиями.

Сечение проводов и жил кабелей цепей управления, сигнализации, измерения и т.п. выбирается так же, как сечение проводников цепей питания, по допустимым токовым нагрузкам, потере напряжения и механической прочности.

На проводники цепей измерения, управления, сигнализации, нагруженные по току, как правило, ниже допустимых значений, снижающие коэффициенты на допустимую токовую нагрузку не вводятся.

При выборе сечений проводников цепей измерения необходимо также учитывать допустимые значения сопротивлений проводов и жил кабелей, указываемые заводами-изготовителями в технических условиях на аппаратуру.

Наименьшие допустимые сечения жил проводов и кабелей в электропроводках систем автоматизации принимаются:

а) $0,35 \text{ мм}^2$ – для многопроволочных (гибких) медных жил;

б) $0,5 \text{ мм}^2$ – для однопроволочных медных жил;

в) 2 мм^2 – для алюминиевых жил (данное сечение является новым перспективным сечением алюминиевых жил проводов, которое будет предусмотрено конкретными стандартами на кабельную продукцию).

Провода и кабели с указанными наименьшими допустимыми сечениями жил могут применяться при всех принятых способах выполнения электропроводок систем автоматизации, кроме электропроводок, выполняемых проводами в защитных трубах. Для прокладки в пластмассовых и стальных защитных трубах (в металлических рукавах) должны применяться провода с сечением медных жил не менее 1 мм^2 , алюминиевых – 2 мм^2 , обладающих достаточной механической прочностью, необходимой для выполнения за-

тяжки этих проводов в трубы.

Сечение жил гибких медных кабелей для питания электрифицированного инструмента и переносного освещения принимается не менее $0,75 \text{ мм}^2$.

Изоляция проводов и кабелей во всех случаях должна соответствовать параметрам электрической цепи. При номинальном напряжении цепей до 400 В переменного и 440 В постоянного тока провода и кабели должны иметь изоляцию, выполненную на номинальное напряжение, не ниже указанных значений; изоляция цепей с рабочим напряжением не выше 60 В, в которых применяются аппаратура связи и телемеханики, должна соответствовать нормам для этих устройств. Нулевые проводники в системах электропитания должны иметь изоляцию, *равноценную* изоляции фазных проводников.

Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды.

Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

При наличии специальных требований, связанных с особенностями автоматизируемого объекта (например, высоких температур и т.п.), изоляция проводов и кабелей должна отвечать этим требованиям.

При выборе проводов и кабелей часто возникает вопрос о необходимом резерве жил. Определение числа резервных проводов и жил кабелей должно производиться с учетом следующих требований:

а) при прокладке проводов в защитных трубах рекомендуется предусматривать резерв в размере 10% числа рабочих проводов, но не менее одного провода; допускается при необходимости предусматривать такой же резерв проводов и при прокладке их в коробах и пучками на лотках;

б) число резервных жил медных кабелей выбирается следующим образом: при числе рабочих жил 8 – 26 – одна резервная жила; при 27 – 59 – две; при 60 – 105 – три; при 2 – 7 – резерв не предусматривается;

в) число резервных жил алюминиевых кабелей выбирается следующим образом: при числе рабочих жил 4 – 10 – одна резервная жила; при 14 – 37 – две;

г) число резервных жил алюмомедных кабелей выбирается следующим образом: при числе рабочих жил 4 – 10 – одна резервная жила; при 14 – 37 – две; при 52 и 61 – три;

д) большее, чем указано в п. б – г, число резервных жил медных, алюминиевых и алюмомедных кабелей допустимо только из-за ступенчатости стандартной шкалы жил кабелей;

е) при прокладке группы кабелей, принадлежащих одной системе автоматизации в одном направлении, число резервных жил рекомендуется определять из суммарного числа этих кабелей.

Провода. Для электропроводок систем автоматизации при всех принятых способах прокладки должны применяться защищенные и незащищенные изолированные провода с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией и

оболочками (резиновой – с приведенными ниже указаниями). Провода с горючей изоляцией и оболочками из полиэтилена применять не разрешается.

В местах, где вследствие высокой температуры окружающей среды применение проводов с изоляцией и оболочками нормальной теплостойкости невозможно, следует применять провода с изоляцией и оболочками повышенной теплостойкости, например кремнийорганические.

В сырых и особо сырых помещениях и в наружных установках изоляция и оболочки должны быть влагостойкими.

В помещениях и наружных установках с химически активной средой изоляция и оболочки должны быть по возможности стойкими к среде либо защищены от ее воздействия.

В местах, где проводка подвергается воздействию масел и эмульсий следует применять провода с маслостойкими изоляцией и оболочками. Провода с нецветостойкой изоляцией и оболочками должны быть защищены от воздействия света.

При выборе конкретных марок проводов необходимо также учитывать рекомендации стандартов и технических условий на кабельную продукцию, касающиеся предпочтительных областей применения тех или иных типов проводов.

В табл. 7.1 – 7.5 приведены технические данные наиболее используемых в электропроводах систем автоматизации проводов и кабелей.

Провода с поливинилхлоридной изоляцией (табл. 7.1) по ГОСТ 6323 – 79 предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды от –50 до + 50 °С и относительной влажности воздуха не более (95 ± 2)%, приведенной к температуре 40 °С. Монтаж проводов должен производиться при температуре не ниже –15 °С. Длительно допустимая температура жил при эксплуатации должна быть не более + 70 °С. Провода с поливинилхлоридной изоляцией испытываются на нераспространение горения по ГОСТ 12176 – 76, что дает основание относить их по ПУЭ к трудносгораемым. По этому стандарту под нераспространением горения понимается невоспламенение или прекращение горения кабельного изделия в условиях, определяемых стандартом на данное изделие.

Таблица 7.1

Провода с поливинилхлоридной изоляцией по ГОСТ 6323–79
для электропроводок систем автоматизации

Наименование	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Номинальное напряжение, В
С алюминиевой жилой, с поливинилхлоридной изоляцией	АПВ	1	2,5-16	380 и 660
С медной жилой, с поливинилхлоридной изоляцией	ПВ1	1	0,5-16	380 и 660

То же, гибкий	ПВ2	1	2,5-16	380 и 660
То же, повышенной гибкости	ПВ3	1	0,5-16	380 и 660
То же, особо гибкий	ПВ4	1	0,5-6	380 и 660

Провода с резиновой изоляцией, указанные в табл. 7.2, предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды от -50 до $+50$ °С и относительной влажности воздуха не более 98 %, приведенной к температуре 20 °С.

Длительно допускаемая температура жил при эксплуатации не должна превышать $+65$ °С. Монтаж проводов должен производиться при температуре не ниже -25 °С.

Провода незащищенные АПРТО и ПРТО имеют изоляцию из горючей резины типа РТИ-1, а провода защищенные АПРН, ПРН, ПРГН имеют оболочку из негорючей резины типа РШН-2, благодаря чему они могут быть отнесены к проводам, не распространяющим горение. Однако провода АПРТО и ПРТО, несмотря на то, что они имеют изоляцию из горючей резины РТИ-1, могут прокладываться в стальных защитных трубах, на что имеется соответствующее указание в ГОСТ 20520-80. На провода марок ОРН и ПРГН допускается воздействие химически активной окружающей среды.

Таблица 7.2

Провода с резиновой изоляцией по ГОСТ 20520-80 для электропроводок систем автоматизации (номинальное напряжение 660 В)

Наименование	Марка	Число жил	Номинальное сечение, мм ²
С алюминиевой жилой, с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	АПРТО	1, 2, 3	2,5-16
		7	2,5-10
		10, 14	2,5
То же, с медной жилой	ПРТО	1	0,75-16
		2, 3	1-16
		7	1,5-10
		10, 14	1,5-2,5
С алюминиевой жилой, с резиновой изоляцией, в негорючей резиновой оболочке	АПРН	1	2,5-16
То же, с медной жилой	ПРН	1	1,5-16
С гибкой медной жилой, с резиновой изоляцией, в негорючей резиновой оболочке	ПРГН	1	1,5-16

В табл. 7.3 приведены рекомендации по предпочтительной области применения проводов с поливинилхлоридной изоляцией по ГОСТ 6323 – 79

и с резиновой изоляцией по ГОСТ 20520 – 80 с учетом отмеченных выше характеристик этих проводов.

В помещениях с химически активной средой рекомендуется только прокладка в винипластовых защитных трубах, а не в стальных защитных трубах и коробах, подвергающихся активному разрушению, причем при открытой прокладке по стораемым поверхностям и конструкциям, когда запрещается применение винипластовых труб (табл. 7.3) и не рекомендуется прокладка в стальных защитных трубах и коробах, лучшим решением является применение соответствующих данной среде кабелей.

Кроме рекомендованных выше марок проводов, в электропроводках систем автоматизации могут при необходимости применяться провода других марок. При этом подбор их характеристик и определение допустимой области применения должны производиться с учетом требований конкретных стандартов или технических условий на провода, приведенных в ПУЭ.

Кабели, применяемые в электропроводках систем автоматизации, должны иметь поливинилхлоридную, резиновую, бумажную, полиэтиленовую изоляцию жил и поливинилхлоридную, резиновую, свинцовую, алюминиевую оболочки. Запрещается при всех способах прокладки применение кабелей в горючей полиэтиленовой оболочке.

Во всех случаях изоляция, оболочки и наружные покровы кабелей должны соответствовать условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

Таблица 7.3

Выбор установочных проводов в зависимости от вида электропроводки, способа прокладки и условий окружающей среды

Вид электропроводки и способ прокладки установочных проводов		Марки провода для				
		сухого, влажного, сырого, особо сырого помещений	жаркого помещения	пыльного помещения	помещения с химически активной средой	наружных установок
1	2	3	4	5	6	7
Открытая по несгораемым и трудногораемым поверхностям	на лотках	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН.	–	–	–
	в коробах с открываемыми крышками	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1 АПРН, ПРН	–	АПРН, ПРН
	в винипластовых трубах	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1 АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРН, ПРН

	в стальных трубах	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПРТО, ПРТО, АПРН, ПРН
Открытая по сгораемым поверхностям и конструкциям:	на лотках	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	–	–
	в коробах с открываемыми крышками	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПРН, ПРН
	в стальных трубах	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПРТО, ПРТО, АПРН, ПРН
Скрытая по несгораемым и трудносгораемым поверхностям и конструкциям:	в винилпластовых трубах непосредственно	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРН, ПРН
	в полиэтиленовых трубах, замоноличенных в бороздах и т.п., в сплошном слое несгораемых материалов	АПВ, ПВ1, АПРН,	–	АПВ, ПВ1, АПРН,	АПВ, ПВ1, АПРН,	АПРН, ПРН
	в стальных трубах непосредственно	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПРТО, ПРТО, АПРН, ПРН

Продолжение табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7
Скрытая по сгораемым по поверхностям и конструкциям	в винилпластовых трубах, с подкладкой под трубы несгораемых материалов и последующим заштукатуриванием	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРН, ПРН
	в стальных трубах непосредственно	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	АПРТО, ПРТО, АПВ, ПВ1, АПРН, ПРН	–	АПРТО, ПРТО, АПРН, ПРН

Наиболее широкое применение в электропроводках систем автоматизации находят контрольные кабели по ГОСТ 1508 – 78, основные технические данные которых приведены в табл. 7.4.

Кабели состоят из токоведущих жил, изоляции, оболочки и защитного покрова. Токоведущие жилы кабелей изготавливают из алюминия или меди. Изоляция жил кабеля – поливинилхлоридная (В), полиэтиленовая (П), резиновая (Р), бумажная, из самозатухающего полиэтилена (Пс).

Первая буква марки обозначает материал жилы (А – алюминиевая, бу-

ква отсутствует – медная); вторая буква указывает тип кабеля (К – конный, буква отсутствует – силовой), третья буква – материал, применяемый для защитной оболочки. Буква Р – резиновая, Н – нейритовая (негорючая резина). Четвертая буква – материал, применяемый для изоляции жил. Если буква отсутствует, изоляция жил – бумажная. Пятая буква показывает наличие и вид бронирования (Б – ленточное, П – плоской стальной проволокой). Наличие в марке кабеля буквы Г означает, что кабель не имеет защитного наружного покрова поверх брони.

Контрольные кабели по ГОСТ 1508 – 78 предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха до $(98 \pm 2)\%$, приведенной к температуре 40°C . Длительно допустимая температура на жиле должна быть для кабелей с резиновой изоляцией не более $+65^{\circ}\text{C}$, с поливинилхлоридной и полиэтиленовой – не более $+70^{\circ}\text{C}$.

Прокладка кабелей без предварительного нагрева должна производиться при температуре не ниже: -20°C – для небронированных кабелей в свинцовой оболочке; -15°C – для небронированных кабелей в резиновой и поливинилхлоридной оболочках, а также для бронированных одной профилированной стальной лентой; -7°C – для остальных бронированных кабелей.

Таблица 7.4

Номинальное сечение и число жил контрольных кабелей по ГОСТ 1508 – 78

Марка кабеля	Число жил в кабеле при номинальном сечении жилы, мм ²						
	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10
КРСГ, КРСБ, КРСБГ	-	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37			4, 7, 10		-
КРСК	-	10, 14, 19, 27, 37		7, 9, 14, 19, 27, 37	7, 10		-
КРВГ, КРВГЭ, КРВБ, КРНБ, КРВБГ, КРВББГ, КРНГ, КРНБГ, КРНББГ, КРНБн, КВВБн, КПсВБн, КРВБн	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37			4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37	4, 7, 10		-
КВВГ, КВВГЭ, КВВБ, КВВБГ, КВВББГ, КВББШв, КПсВГ, КПсВГЭ, КПсВБ, КПсВБГ, КПсВББГ, КПсББШв	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61						
КВКБШв, КПсВКБШв	10, 14, 19, 27, 37			7, 10, 14, 19, 27, 37	7, 10		-
АКРКГ, АКРБГЭ, АКРВБ, АКРВБГ, АКРВББГ, АКРНГ, АКРНБ, АКРНБГ, АКРНББГ, АКВВГ, АКВВГЭ, АКВВБГ, АКПсВГ, АКПсВГЭ,				4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37,	4, 7, 10		

АКПсВБ, АКПсВБГ, АКПсББГ, АКПсББШв, АКВВБ				
--	--	--	--	--

Преимущественные области применения различных типов контрольных кабелей в соответствии с рекомендациями ГОСТ 1508-78-приведены в табл. 7.5.

Отметим также некоторые дополнительные требования к выбору кабелей, обусловленные различными способами выполнения электропроводок.

В производственных помещениях для прокладки на кабельных конструкциях и лотках при отсутствии опасности механических повреждений рекомендуется применять небронированные кабели. Кабельные конструкции и лотки с небронированными кабелями должны прокладываться на высоте не менее 2 м; на меньшей высоте прокладка небронированных кабелей допускается при условии защиты их от механических повреждений угловой сталью, коробами, трубами и т.п.

При наличии опасности механических повреждений в эксплуатации и невозможности выполнения надежной механической защиты небронированных кабелей для прокладки на кабельных конструкциях и лотках в производственных помещениях применяются бронированные кабели. Если бронированные кабели располагаются в местах, где производится перемещение механизмов, грузов, оборудования и транспорта, то они должны быть защищены дополнительно на высоте 2 м от уровня пола или земли и на 0,3 м в земле.

Таблица 7.5

Рекомендуемые области применения контрольных кабелей по ГОСТ 1508–78
в электропроводках систем автоматизации

Марка кабеля	Рекомендуемая область применения
КРСГ	Внутри помещений, в каналах, туннелях, местах, не подверженных вибрации, при отсутствии механических повреждений кабеля, в среде, нейтральной по отношению к свинцу
КРСК	В местах, где кабель подвергается значительным растягивающим усилиям
КРСБГ, КРВБГ, КПсВБГ, КРНБГ, КРВББГ, КРНББГ, КВВББГ, КВВБГ, КПсВББГ, АКРВБГ, АКВВБГ, АКПсВБГ, АКРНБГ, АКРВББГ, АКРНББГ, АКВВББГ, АКПсВББГ	В помещениях, каналах, туннелях, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
КРВГ, КВВГ, КРНГ, КПсВГ, АКВВГ, АКРВГ, АКРНГ, АКПсВГ	В помещениях, каналах, туннелях, в условиях агрессивной среды при отсутствии механических воздействий на кабель

КРВГЭ, КВВГЭ, КПсВГЭ, АКРВГЭ, АКВВГЭ, АКПсВГЭ	В помещениях, каналах, туннелях, при отсутствии механических воздействий на кабель, в условиях агрессивной среды и необходимости защиты от электрических полей
КРВБ, КРНБ, КВВБ, КПсВБ, АКРВБ, АКРНБ, АКВВБ, АКПсВБ КПсБбШв, КВБбШв, АКПсБбШв, АКВБбШв	В земле (траншеях) в условиях агрессивной среды и в местах, подверженных воздействию блуждающих токов, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям В помещениях, каналах, туннелях, в земле (траншеях), в том числе в условиях агрессивной среды, и в местах, подверженных воздействию блуждающих токов, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
КПсВКбШв, КВКбШв	То же, если кабель подвергается значительным растягивающим усилиям
АКПсВГ, КПсВГ, АКВВГ, КВВГ	В земле (траншеях), при условии обеспечения защиты указанных небронированных кабелей в местах выхода на поверхность от механических повреждений в эксплуатации
Кабели всех марок	На открытом воздухе, при условии защиты их от механических повреждений и воздействия прямых солнечных лучей

Для прокладки в стальных коробах и защитных трубах в производственных помещениях применяют небронированные кабели.

Бронированные и небронированные кабели, прокладываемые в производственных помещениях, не должны иметь поверх брони и металлических оболочек горючих защитных покровов.

Металлические оболочки кабелей и металлические поверхности, по которым они прокладываются, должны быть защищены негорючим антикоррозионным покрытием.

В наружных установках для прокладки на кабельных конструкциях и лотках при отсутствии опасности механических повреждений рекомендуется применять небронированные кабели, при наличии возможности механических повреждений – бронированные. Небронированные и бронированные кабели в наружных установках должны иметь защитные покровы; если прокладка ведется по сгораемым конструкциям и поверхностям, то они не должны иметь поверх металлической оболочки и брони горючих защитных покровов. Кабели в наружных установках должны быть защищены от прямого воздействия солнечных лучей. Для прокладки в стальных коробах и защитных трубах в наружных установках следует применять небронированные кабели, без горючих защитных покровов.

Для прокладки в земле (траншеях) должны применяться преимущественно бронированные кабели; металлические оболочки этих кабелей должны иметь наружный покров, защищающий от химических воздействий. Небронированные кабели, прокладываемые в земле, должны иметь достаточную стойкость к механическим воздействиям при прокладке их во всех видах

грунтов и протяжке в блоки и трубы, если в этом возникает необходимость.

В кабельных сооружениях – эстакадах, каналах, туннелях, коллекторах, блоках, кабельных этажах, двойных полах прокладывают небронированные кабели без горючих защитных покровов.

Кроме кабелей, выполненных по ГОСТ 1508 – 78, в электропроводках систем автоматизации применяются кабели других марок. В электропроводках систем автоматизации находят применение кабели и провода с алюмомедными токопроводящими жилами.

Провода типа АМПВ с алюмомедной жилой с полихлорвиниловой изоляцией изготавливаются по техническим условиям ТУ 16-705.145-80. Сечение жил от 1,5 до 10 мм².

Номинальное напряжение цепей, в которых могут применяться провода, – до 380 и 660 В переменного тока частотой до 400 Гц и 500 и 1200 В постоянного тока. Электрическое сопротивление 1 км провода, приведенное к температуре 20 °С, для жил с сечением 1,5; 2,5; 6; 10 мм² соответственно составляет 19,25; 11,65; 7,18; 4,84 и 2,86 Ом.

Кабели контрольные с алюмомедными жилами в поливинилхлоридной оболочке, с изоляцией из поливинилхлоридного пластика или самозатухающего полиэтилена изготавливаются по ТУ 16-705.150-80.

Кабели предназначены для применения в цепях напряжением до 660 В переменного тока, частотой до 1000 Гц и напряжением до 1000 В постоянного тока.

Контрольные кабели с алюмомедными жилами выпускаются двух сечений – 1,5 и 2,5 мм². Число жил в кабелях сечением 1,5 мм² – 4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61, в кабелях сечением 2,5 мм² – 4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37.

Электрическое сопротивление токопроводящей жилы, пересчитанное на сечение 1 мм², длину 1 км и температуру 20 °С, не превышает 27,5 Ом.

Провода и кабели с алюмомедными жилами могут применяться вместо проводов и кабелей с медными жилами в электропроводках систем автоматизации (цепях питания, управления, сигнализации), прокладываемых в производственных помещениях и наружных установках, за исключением:

- взрывоопасных зон классов В-I и В-Ia;
- установок, подверженных вибрации;
- электростанций мощностью 150 МВт и выше;
- электропроводок систем автоматизации доменных и сталеплавильных цехов, обжимных и непрерывных прокатных станов;
- цепей питания переносных электроприемников (электрифицированного инструмента и переносных ламп);
- открытых электропроводок в чердачных помещениях; электропроводок в зрелищных предприятиях (например, систем кондиционирования воздуха), прокладываемых на сцене, арене, в киноаппаратной, светопроекционной, помещениях управления аккумуляторной, на чердаке, в зрительном зале с числом мест 800 и более; электропроводок в музеях, картинных галереях, библиотеках, архивах и т.п.

Во всех случаях, когда решается вопрос применения проводов и кабелей с алюмомедными жилами, следует также учитывать возможность выполнения их ввода через вводные устройства и присоединения к зажимам конкретных типов приборов, аппаратов и других средств автоматизации.

Например, у некоторых типов приборов и аппаратов (термометров сопротивления ТСП-5071 и др.) выводные зажимы не пригодны для присоединения алюмомедных проводов. В этих зажимах жила провода или кабеля прижимается торцом винта и в месте конкретного соединения происходит смятие (деформация) жилы и разрушение ее поверхностного слоя.

При использовании алюмомедных проводов и кабелей следует учитывать, что:

1) механическая прочность целого участка алюмомедного проводника на 40 – 50% меньше прочности медного проводника равной проводимости (медный проводник сечением $1,5 \text{ мм}^2$, алюмомедный – $2,5 \text{ мм}^2$);

2) механическая прочность жилы алюмомедных проводников при проверке на перегиб в 2 – 3 раза ниже прочности медных проводников; она составляет 6 – 7 перегибов до разрушения медного слоя на поверхности проводника и 9 – 12 перегибов до полного разрушения проводника. Поэтому алюмомедные проводники, как и алюминиевые, можно присоединять к зажимам аппаратов и приборов, не требующих частых (более 6 – 7) присоединений в процессе монтажа и эксплуатации;

3) алюмомедные жилы не обладают эффектом образования термо-ЭДС при нагревании одного из концов проводника.

Требования к присоединению и соединению жил проводов и кабелей. Выбирая те или иные марки проводов и кабелей, следует также учитывать способы их соединения и присоединения. В зависимости от сечения жил проводов и кабелей установлены определенные требования к присоединению проводников к приборам, аппаратам, зажимам, а также соединению проводников между собой.

От качества выполнения указанных соединений во многом зависит надежность электрических проводов и их пожарная безопасность.

На электрическое сопротивление контакта оказывают влияние площадь контакта, определяемая площадью токопроводящих контактных пятен, а также наличие и толщина окисных или сульфидных пленок потускнения, возникающих в воздухе на поверхности некоторых металлов.

С увеличением давления на контактирующие поверхности увеличивается площадь контактных пятен и электрическое сопротивление контакта падает (до определенного предела). Пленки потускнения толщиной до $20 \cdot 10^{-7}$ мм являются электропроводящими. При большей толщине их проводимость нарушается и сопротивление контакта возрастает. Особенно интенсивный рост толщины пленки наблюдается у алюминия. Медные поверхности на воздухе также покрываются пленкой окиси меди, имеющей невысокую проводимость. Однако со временем в условиях недостаточного доступа воздуха в контактное соединение окись меди переходит в закись меди, обладающую

значительной проводимостью. Этим объясняется лучшее качество медных контактов по сравнению с алюминиевыми. Для предохранения контактной поверхности от появления пленок потускнения они покрываются не окисляемыми на воздухе металлами (никелем, оловом и др.). При контактном соединении меди и алюминия вследствие различия их электрохимических потенциалов образуется гальваническая пара. Электрохимические реакции, происходящие в такой паре, вызывают разрушение одного из металлов и ухудшение контакта. Всякое увеличение сопротивления контакта приводит к значительному тепловыделению в нем при протекании электрического тока, что может послужить причиной пожара.

Поэтому к выполнению присоединения проводников к зажимам и соединению проводников между собой предъявляются определенные требования.

Присоединение однопроволочных жил проводов и кабелей сечением 0,5; 0,75 мм² и многопроволочных медных жил сечением 0,35; 0,5 и 0,75 мм² к приборам, аппаратам, сборкам зажимов должно, как правило, выполняться пайкой, если конструкция их выводов и зажимов позволяет это осуществлять (неразборное контактное соединение). При необходимости присоединения однопроволочных и многопроволочных медных жил указанных сечений к приборам, аппаратам и сборкам зажимов, имеющим выводы и зажимы для присоединения проводников под винт или болт (разборное контактное соединение), жилы этих проводов и кабелей должны оконцовываться наконечниками.

Однопроволочные медные жилы проводов и кабелей сечением 1; 1,5; 2,5; 4 мм² должны, как правило, присоединяться непосредственно под винт или болт, а многопроволочные провода этих же сечений – с помощью наконечников или непосредственно под винт или болт. При этом жилы однопроволочных и многопроволочных проводов и кабелей в зависимости от конструкции выводов и зажимов приборов, аппаратов иборок зажимов оконцовываются кольцом или штырем; концы многопроволочных жил (кольца, штыри) должны пропаиваться, штыревые концы могут опрессовываться штифтовыми наконечниками.

Если конструкция выводов и зажимов приборов, аппаратов,борок зажимов требует иных способов присоединения одно- и многопроволочных медных жил проводов и кабелей, должны применяться способы присоединения, указанные в соответствующих стандартах и технических условиях на эти изделия.

Присоединение алюминиевых жил проводов и кабелей сечением 2,0 мм² и более к приборам, аппаратам, сборкам зажимов должно осуществляться только зажимами, позволяющими выполнить непосредственное присоединение к ним алюминиевых проводников соответствующих сечений.

Не рекомендуется, как правило, присоединять под один зажим более одной жилы провода или кабеля. При необходимости допускается присоединение двух жил, если это позволяет осуществить конструкция зажима. Присоединение жил проводов и кабелей к приборам, аппаратам и другим средст-

вам автоматизации, имеющим выводные устройства в виде штепсельных разъемов, должно выполняться с помощью многопроволочных (гибких) медных проводов или кабелей, прокладываемых от сборок зажимов или соединительных коробок до приборов и средств автоматизации.

Разборные и неразборные соединения медных и алюминиевых проводов и кабелей с выводами и зажимами приборов, аппаратов, сборок зажимов должны выполняться согласно требованиям соответствующих стандартов и инструкций на выполнение контактных соединений.

Соединение жил проводов и кабелей между собой производится опрессовкой, сваркой, пайкой и зажимами (винтовыми, болтовыми и т.п.); ответвления рекомендуется выполнять с помощью зажимов.

7.4. Условия совместной прокладки цепей различного

назначения

От условий прокладки измерительных цепей различных приборов друг с другом, а также измерительных цепей с другими цепями систем автоматизации и силовыми электропроводами автоматизируемого объекта зависит уровень электрических помех в измерительных устройствах (точность измерения), а иногда и работоспособность систем автоматизации в целом.

Помехи в измерительных линиях приборов могут возникать, например, под действием внешних электромагнитных полей, обусловленных работой промышленных электрических установок (индукционных печей, токопроводов и т.п.), а также из-за наличия емкостных связей между различными цепями, расположенными в одном кабеле, защитной трубе или пакете проводов.

Заметим, что помехи, вызванные индуктивными связями между измерительными цепями, проложенными в одном кабеле, на работе приборов сказываются незначительно. Однако их влияние становится преобладающим, когда рассматриваются наводки от силовых кабелей или других токопроводов на проложенные по той же трассе кабели с измерительными цепями приборов. Помехи, обусловленные проводимостью изоляции проводов и кабелей при нормируемом уровне изоляции, практически невелики.

Влиянию помех подвержены не только измерительные цепи приборов. Из-за емкостных связей влияют друг на друга и цепи управления, сигнализации и др. Например, в схемах управления на переменном токе, в которых имеются длинные кабельные линии, содержащие цепи с одним общим обратным проводом, могут образовываться ложные цепи и могут происходить ложные срабатывания реле и других аппаратов. Поэтому при проектировании и монтаже электропроводок систем автоматизации очень важно правильно решить вопрос о совместных прокладках цепей различного назначе-

ния. От этого зависит, с одной стороны, нормальная работа систем автоматизации, а с другой – капитальные затраты, связанные с выполнением электрических проводок.

При отсутствии указанных нормативных материалов или данных эксплуатации нужно руководствоваться рекомендациями заводов-изготовителей приборов, хотя они чаще всего составлены исходя из условия прокладки цепей одного прибора.

Возможен следующий ряд [1] требований, регламентирующих совместную прокладку электропроводок различного назначения, которые необходимо учитывать при проектировании и монтаже систем автоматизации.

В одном кабеле, защитной трубе, пакете проводов допускается объединять цепи измерения, управления, сигнализации, питания и т.п., включая цепи питания и управления электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводами задвижек, напряжением до 440 В переменного и постоянного токов, за исключением:

а) измерительных цепей приборов и средств автоматизации, в которых помехи, возникающие из-за влияния цепей другого назначения, превосходят допустимые значения. Во всех случаях, когда оценить указанное влияние не представляется возможным, измерительные цепи приборов необходимо прокладывать в отдельных кабелях или защитных трубах;

б) взаиморезервируемых цепей питания, управления. В многоканальных коробах цепи различных назначений и напряжений можно прокладывать в разных каналах;

в) стационарно прокладываемых цепей питания напряжением до 42 В электрифицированного инструмента и освещения щитов по условиям техники безопасности;

г) цепей систем пожарной сигнализации и пожарной автоматики.

Если имеются указания заводов-изготовителей приборов о необходимости прокладки измерительных цепей специальными проводниками (экранированными, коаксиальными и др.), то эти требования должны выполняться; в противном случае не гарантируется нормальная работа приборов.

При совместной прокладке кабелей электропроводок систем автоматизации с силовыми кабелями установок электроснабжения и силового электрооборудования в каналах, туннелях и открыто на кабельных конструкциях в производственных помещениях и наружных установках необходимо соблюдать следующие требования:

а) при двустороннем расположении кабельных конструкций (полок) кабели электропроводок систем автоматизации должны размещаться по возможности на противоположной стороне от силовых кабелей;

б) при одностороннем расположении кабельных конструкций кабели систем автоматизации должны размещаться под силовыми кабелями, при этом между ними следует устанавливать горизонтальные разделительные асбоцементные перегородки с пределом огнестойкости не менее 0,25 ч;

в) кабели электропроводок систем автоматизации допускается прокла-

дывать рядом (на одних полках) с силовыми кабелями напряжением до 1000 В, если это допустимо по условиям совместной прокладки;

г) кабели электропроводок систем автоматизации с взаиморезервируемыми цепями питания, управления и т.п. рекомендуется прокладывать на разных полках, разделенных асбоцементными перегородками с пределом огнестойкости не менее 0,25 ч;

д) вертикальное расстояние в свету между горизонтальными конструкциями, на которых проложены кабели систем автоматизации, должно быть не менее 100 мм; расстояние между кабелями, проложенными на одной полке, не нормируется.

При прокладке кабелей электропроводок систем автоматизации в коллекторах совместно с силовыми кабелями, кабелями связи, водо-, тепло- и воздухопроводами, помимо перечисленных выше требований, необходимо также учитывать следующее:

а) при двухрядном расположении кабелей и трубопроводов с одной стороны прохода должны прокладываться сверху кабели связи, под ними теплопроводы, с другой стороны прохода – сверху силовые кабели, под ними кабели электропроводок систем автоматизации, внизу водопроводы;

б) при однорядном расположении кабелей и трубопроводов сверху должны быть расположены силовые кабели, под ними – кабели электропроводок систем автоматизации, а под ними – кабели связи, внизу – водо- и теплопроводы;

в) совместная прокладка в коллекторах кабелей электропроводок систем автоматизации с газопроводами, содержащими легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, не допускается.

В производственных помещениях и наружных установках электропроводки систем автоматизации могут прокладываться совместно с командными и импульсными проводками (транспортирующими негорючие среды) устройств пневмоавтоматики, выполненными пластмассовыми трубами или пневмокабелями в коробах, на лотках, кабельных конструкциях. Сказанное не относится к пожаро- и взрывоопасным зонам; в последних такая прокладка допустима только для электропроводок с искробезопасными цепями. В коробах пластмассовые трубы или пневмокабели и электрические проводки должны прокладываться в отдельных каналах многоканальных коробов; на лотках пластмассовые трубы или пневмокабели должны прокладываться от электрических кабелей или пучков проводов на расстоянии не менее 150 мм; на кабельных конструкциях пластмассовые трубы и пневмокабели размещаются под электрическими кабелями.

С учетом возможности совместной прокладки цепей различного назначения должен решаться и очень важный для широкого внедрения промышленных методов монтажа вопрос о применении в электропроводках систем автоматизации электрических кабелей с большим числом жил.

При проектировании электропроводок с применением многожильных кабелей цепи датчиков, первичных измерительных преобразователей, испол-

нительных механизмов и т.п., рассредоточенных по автоматизируемому объекту, объединяют в соединительных коробках, а от соединительных коробок до щитового помещения (операторской, диспетчерской) прокладывают магистральный кабель (или кабели) с большим числом жил.

Если в производственных помещениях предусмотрены местные щиты, то объединение цепей датчиков, первичных измерительных преобразователей, исполнительных механизмов и т.п. производят на этих щитах.

В месте ввода магистральных кабелей в щитовое помещение устанавливаются шкафы сборок зажимов, на которых производится расключение жил кабелей и выполняются все необходимые соединения (перемычки). Если шкафов сборок зажимов несколько, то сборки зажимов могут устанавливаться в отдельных помещениях, примыкающих к щитовому помещению.

Электрические проводки от шкафов сборок зажимов до соответствующих панелей щита управления выполняют проводами в коробах или на лотках либо кабелями на кабельных конструкциях, в коробах, на лотках, в кабельных каналах, двойных полах.

Применение магистральных многожильных кабелей позволяет снизить расход кабельной продукции; сократить сроки выполнения монтажа за счет возможности прокладки магистральных кабелей независимо от завершения монтажа технологического оборудования и готовности щитового помещения; улучшить технологию выполнения монтажных кабельных работ; сократить сроки выполнения монтажных работ в операторских (диспетчерских) помещениях, значительно уменьшить число перемычек между панелями за счет выполнения необходимых соединений в шкафах сборок зажимов и т.д.

Проведенный технико-экономический анализ применения многожильных магистральных кабелей вместо индивидуальных (необъединенных) проводов, выполненных кабелями на кабельных конструкциях, вместо электропроводок, выполненных проводами в стальных коробах и трубах, показал, что при длине магистрального кабеля, большей или равной длине участка кабелей от соединительной коробки до датчиков, сметная стоимость материалов при применении многожильных кабелей снижается в среднем на 45 – 50 %, а сметная стоимость монтажа электрических проводок на 40 – 45 %.

Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете способы прокладки электропроводок в производственных помещениях и наружных установках?
2. Особенности прокладки открытых электропроводок в защитных стальных и пластмассовых трубах.
3. Дайте классификацию проводов и кабелей.
4. Опишите конструкцию проводов и кабелей.
5. Поясните выбор проводов и кабелей.
6. Назовите условия совместной прокладки цепей различного назначения.

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

В условиях возросшей потребности в обеспечении надежного канала связи, как в сфере построения глобальных информационных сетей, так и в области промышленной автоматизации волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) представили собой достойную замену традиционным линиям, основанным на медном кабеле.

ВОЛС в качестве физической среды передачи информации в многоуровневых распределенных системах управления позволяют передавать информацию с существенно более высокими скоростями по сравнению с медным кабелем, невосприимчивы к электромагнитному излучению и имеют высокие качества по защите информации [1, 6]. Информационный канал при этом содержит оптический излучатель, приемник и среду передачи информации – оптическое волокно (пластиковая или стеклянная нить).

8.1. Основные физические понятия оптоволоконных технологий передачи информации

Рассмотрим преломление светового луча при переходе из более плотной среды n_1 в менее плотную n_2 , (рис. 8.1, а). Углом падения называется угол между перпендикуляром к границе раздела двух сред и падающим лучом (θ_1). На границе раздела часть света отражается обратно (отражение Френеля). Углом отражения называется угол между перпендикуляром к границе раздела двух сред и отраженным лучом. Оставшаяся часть света пересекает границу раздела, образуя преломленный луч, который распространяется под углом θ_2 . Согласно закону Снеллиуса между углом падения и углом преломления существует соотношение:

$$n_1 \sin (\theta_1) = n_2 \sin (\theta_2). \quad (8.1)$$

Если угол падения θ_1 , увеличивается, то при определённом его значении преломленный луч полностью исчезает ($\theta_2 = 90^\circ$). Такой угол называется критическим углом скольжения θ_c (рис. 8.1, б):

$$\theta_c = \arcsin (n_2/n_1). \quad (8.2)$$

При углах, больших критического (рис. 8.1, в), свет полностью отражается и во вторую среду не проникает, а интенсивность отражённого луча равна интенсивности падающего. Это явление называется полным внутренним отражением. Свет при этом оказывается словно заключённым в плотной среде и распространяется в ней, повторяя все ее изгибы. Лучи, идущие под малым углом к границе двух сред, полностью отражаются от нее. Таким обра-

зом, оболочка прочно удерживает их, обеспечивая светонепроницаемый канал для передачи сигнала практически со скоростью света. Однако следует иметь в виду, что такой режим распространения может быть нарушен неправильным монтажом, например, слишком малым радиусом изгиба оптоволоконна.

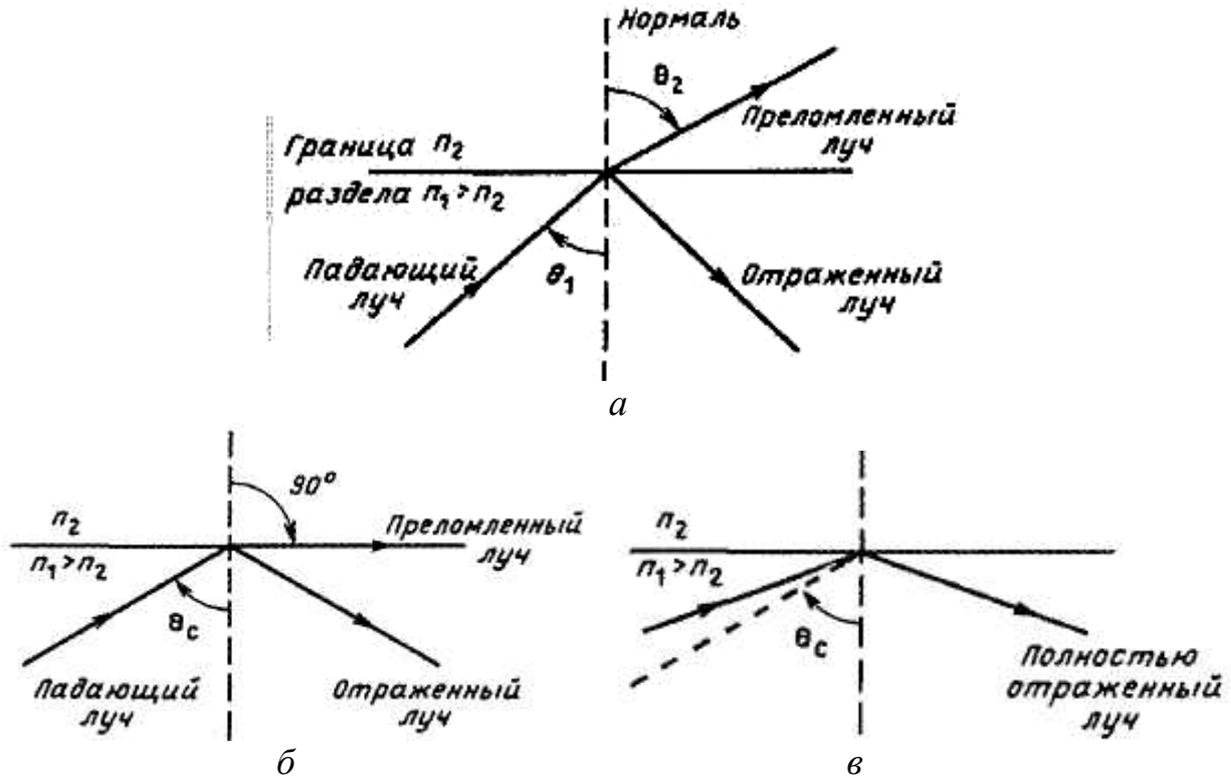


Рис. 8.1. Отражение и преломление света на границе двух сред

Будь световод идеальным, изготовленным из абсолютно прозрачного и однородного материала, световые волны должны распространяться не ослабевая. На самом деле практически все реальные световоды достаточно сильно поглощают и рассеивают электромагнитные волны из-за своей непрозрачности и неоднородности.

Устройство оптического волокна. Оптическое волокно (рис. 8.2) состоит из двух concentric слоев: сердечника (ядра) и оптической оболочки, имеющих показатели преломления соответственно n_1 и n_2 . Ядро и оптическая оболочка могут быть изготовлены из одного материала (например, особо чистого кварцевого стекла), изменение показателя преломления при этом достигается подбором специальных добавок, вводимых в чистый расплав кварца. Этот процесс называется легированием. В качестве легирующего вещества чаще всего выступают окислы германия (GeO_2), фосфора (P_2O_5), бора (B_2O_3), фтор (F), эрбий (Er) и неодим (Nd). В частности, фтор и окись бора уменьшают показатель преломления, а окись германия и окись фосфора его увеличивают. Вокруг оптической оболочки в целях предохранения от внешних воздействий, влияющих на оптические свойства оптоволоконна (вла-

га, царапины, микротрещины), наносятся два слоя полимера (акрилат). Ядро оптоволокна также может быть изготовлено из стекла, а оптическая оболочка из пластика (*PCS*-оптоволокно). И, наконец, пластиковое оптоволокно имеет ядро и оболочку из пластика.

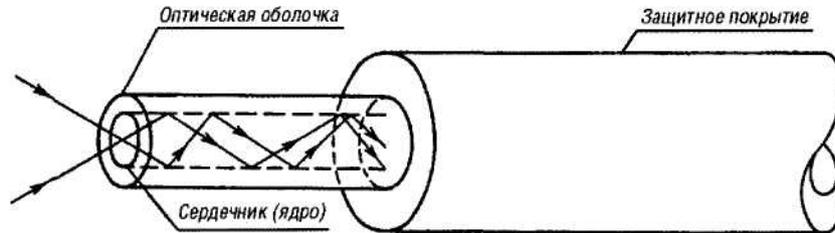


Рис. 8.2. Структура оптического волокна

Показатель преломления сердечника n_1 больше показателя преломления оптической оболочки и n_2 . Численная разница показателей преломления невелика – порядка одного процента. Наиболее распространённые соотношения диаметров сердечника и оптической оболочки приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Наиболее распространённые соотношения диаметров сердечника и оптической оболочки

Сердечник, мкм	Оптическая оболочка, мкм
8	125
50	125
62,5	125
100	140

При указании значений этих величин для конкретного оптоволокна используется запись, в которой после численного значения диаметра сердечника через « / » указывается значение диаметра оптической оболочки. Например, оптоволокно для сетевого оборудования фирмы *Hirschmann* имеет маркировку 62,5/125.

При вводе света внутрь волокна под углом, большим критического, свет, испытывая полное внутреннее отражение, будет двигаться зигзагообразно вдоль сердечника оптоволокна. Лучи, при движении пересекающие ось световода, называются *меридиональными*. Следует отметить, что часть лучей, называемых *косыми* (асимметричными), будет двигаться по спиралевидной траектории, не пересекая ось волокна; при анализе волоконно-оптических процессов они, как правило, не учитываются. Используемые материалы, состав и размеры компонентов определяют физические параметры и особенно-

сти оптоволокна.

Под основными параметрами оптоволокна понимают профиль показателя преломления, число мод, потери оптической мощности.

Профиль показателя преломления. Распределение значений показателя преломления вдоль диаметра поперечного сечения оптического волокна называют профилем показателя преломления. Различают оптические волокна со *ступенчатым* профилем, когда сердечник и оптическая оболочка имеют однородный (но разный!) показатель преломления, и с *градиентным* профилем, когда показатель преломления сердечника плавно уменьшается от центра к краям. У градиентных волокон отсутствует резкое изменение показателя преломления на границе ядра и оптической оболочки, что характерно для ступенчатого профиля. Чаще всего у градиентных световодов профиль показателя преломления близок к параболе, такие световоды называют *параболическими*.

Для оптимизации работы на какой-либо одной длине волны используется и более сложная структура профиля (рис. 8.3).

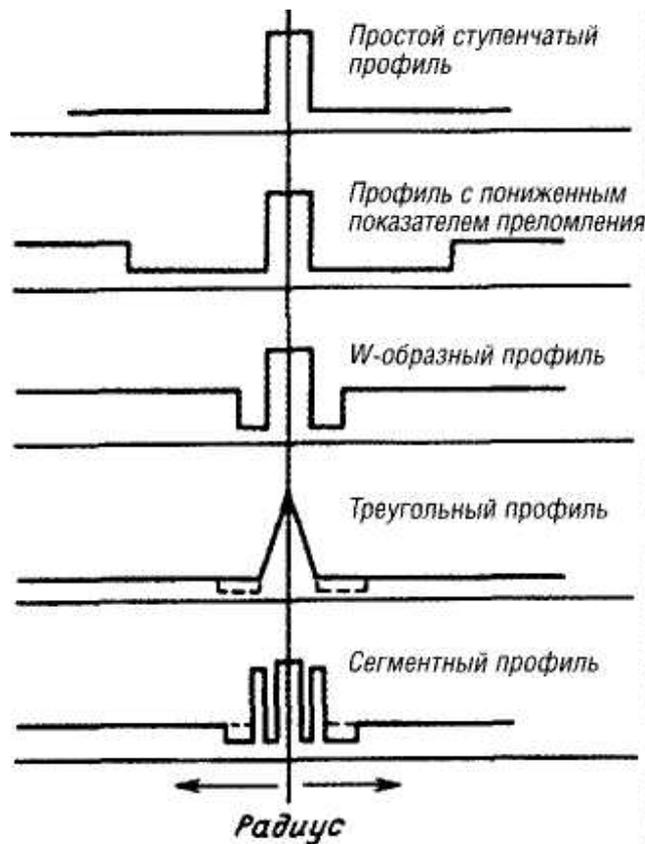


Рис. 8.3. Профили показателей преломления для одномодового волоконного световода

Моды. Строгое рассмотрение уравнений Максвелла, определяющих характер распространения света в оптоволокне, показывает, что в волокне может распространяться ограниченное число типов электромагнитных коле-

баний, называемых модами. Каждая мода имеет характерные для нее структуру электромагнитного поля, а также фазовую и групповую скорость. Под фазовой скоростью понимается скорость перемещения фазы волны, а групповая скорость определяет скорость переноса энергии электромагнитной волной. Для свободно распространяющихся электромагнитных волн обе скорости эквивалентны и равны скорости света, в то время как для электромагнитных волн, перемещающихся в оптоволокне, величины фазовой и групповой скорости различны и зависят от частоты колебаний, материала оптоволокна и его геометрических параметров. Следствием влияния этих факторов является дисперсия. Различают следующие виды дисперсии:

- материальную (молекулярную) дисперсию, обусловленную зависимостью показателя преломления материала световода от длины волны излучения;
- волноводную дисперсию, определяемую длиной волны в оптическом волноводе и фактически зависящую от совокупности таких геометрических параметров оптоволокна, как отклонение от круглой формы сечения, непостоянство диаметра, несоосность ядра и оболочки, непостоянство показателя преломления подлине оптоволокна и т.п.;
- межмодовую (модовую) дисперсию, являющуюся результатом различной скорости распространения мод в многомодовом волокне.

Моды характеризуются тем, что после двух последовательных переотражений от границы сердечника и оптической оболочки их электромагнитные поля оказываются в фазе. Если это условие не соблюдается, то волны, интерферируя, гасят друг друга.

Являясь одним из возможных решений уравнения Максвелла, мода выступает в качестве математического понятия, определяющего такую физическую характеристику, как режим работы оптоволокна.

Различают одномодовый и многомодовый режимы работы волоконно-оптических линий связи. Условием одномодового режима, в котором по оптоволокну распространяется одна основная мода, является выполнение неравенства:

$$F = (2\pi \times NA \times r / \lambda_0) < F_{\text{отс.}} \quad (8.3)$$

Здесь λ_0 – рабочая длина волны, r – радиус сердечника, F – нормированное значение рабочей частоты, $F_{\text{отс.}}$ – нормированное значение частоты отсечки (частоты, соответствующей предельному значению длины волны данной моды). Величина $F_{\text{отс.}} = 2,405$ для световодов со ступенчатым профилем и $F_{\text{отс.}} = 3,53$ в случае параболического профиля.

Величину NA можно найти из выражения:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (8.4)$$

Здесь n_1 и n_2 - показатели преломления сердечника и оптической оболочки.

Условие, определяемое неравенством (8.3), необходимо, но недостаточно. Кроме него, должно выполняться следующее равенство:

$$2r\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,38\lambda_0. \quad (8.5)$$

Если неравенство (8.3) не выполняется, в световоде устанавливается многомодовый режим. В этом случае число мод приблизительно равно $N = F^2/2$ для световода со ступенчатым профилем и $N = F^2/4$ в случае градиентного профиля.

Несмотря на худшие характеристики, многомодовое оптоволокно со ступенчатым профилем показателя преломления является очень распространенным в силу более низких требований к технологическому оборудованию для его производства и используемому материалу. Данное волокно может иметь сердечник из стекла и оптическую оболочку из полимера (*PCS*) или быть полностью изготовленным из пластика. Градиентное оптоволокно широко используется при построении локальных сетей и в коммуникациях, требующих широкой полосы пропускания, например, при передаче видеоизображения. При этом наиболее распространённые значения отношения диаметра ядра к диаметру оптической оболочки составляют 50/125, 62,5/125. Для многомодового световода важной характеристикой является также ширина полосы пропускания волокна в пересчёте на километр его длины, называемая коэффициентом широкополосности. Например, величина этого коэффициента, равная 600 МГц·км (стандартное многомодовое волокно фирмы *Siemens* для длины волны до 1300 нм) говорит о том, что на расстояние в 1 км может быть передан сигнал в полосе частот до 600 МГц или на расстояние 2 км – в полосе до 300 МГц, то есть произведение длины линии передачи на ширину полосы частот сигнала должно быть величиной, меньшей или равной коэффициенту широкополосности.

Одномодовое волокно по сравнению с многомодовым имеет существенно меньший коэффициент затухания и большую пропускную способность (на сегодняшний день по грубой оценке более 10 Гбит/с против 2,5 Гбит/с), но само одномодовое волокно, а также соответствующие приёмники и передатчики стоят дороже, чем многомодовые.

Потери в оптическом волокне. Потери оптической мощности (или затухание) являются результатом поглощения света материалом световода, рассеяния в местах микро- и макроизгибов, а также отражения на концах световода. Коэффициент затухания, отражающий потери оптической мощности, обозначается α и измеряется в дБ/км.

Величину потерь оптической мощности в оптоволокне можно рассчитать из соотношения, носящего название закона Бугера

$$P_L = P_0 e^{-\alpha L}. \quad (8.6)$$

Здесь P_L – величина потерь мощности на длине L , P_0 – величина введенной мощности.

Учитывая, что мощность на выходе оптоволоконна меньше, чем на входе, значение потерь, выраженное в децибелах, будет иметь знак минус, который часто опускается в тексте. Для современных типов одномодового оптоволоконна величина коэффициента затухания при длине волны 1,3 мкм лежит в диапазоне 0,4...0,45 дБ/км. Для многомодового волокна величина коэффициента затухания при той же длине волны составляет 0,6...1,0 дБ/км. Например, для стандартного многомодового оптоволоконна фирмы *Siemens*, используемого для построения оптических сетей *PROFIBUS*, коэффициент затухания при длине волны до 1300 нм составляет 0,8...1,0 дБ/км. Или другой пример: для внутренней прокладки, в частности, для организации протяжённых сетей внутри зданий широко применяется оптический кабель *Indoor Mini-Breakout* (2, 4, 6, 8, 12, 16 или 24 оптоволоконна) фирмы *Belden*, многомодовые оптические волокна которого при длине волны до 1300 нм имеют коэффициент затухания всего 0,5...0,8 дБ/км (табл. 8.2).

Таблица 8.2.

Основные характеристики многомодового оптического волокна кабеля
Indoor Mini-Breakout фирмы *Belden*

Тип оптоволоконна	Размеры диаметра ядра и оболочки (мкм)	Длина волны (нм)	Коэффициент затухания (средний/макс, дБ/км)	Ширина полосы пропускания (МГц·км)	Допустимая длина линии гигабитного <i>Ethernet</i> (м)	Показатель преломления
50/125	50 ± 2,5	850	2,5/2,7	≥600	550	1,481
	125 ± 2	1300	0,5/0,8	≥1200	550	1,476
62,5/125	62,5 ± 2,5	850	3,0/3,2	≥200	220	1,495
	125 ± 2	1300	0,6/0,9	≥600	550	1,490

Поглощение в оптическом материале определяет долю энергии волны, преобразуемую в тепловую энергию. Под поглощением в материале оптоволоконна понимается поглощение света остаточными примесями в кварцевом стекле и легирующими примесями, добавляемыми в стекло для изменения показателя преломления.

Рассеяние определяет часть оптической энергии, которая переизлучается в направлении, отличном от первоначального. Рассеяние света вызвано присутствием в стекле микроскопических неоднородностей и изменением величины плотности самого материала (кварца). Это явление описывается как релеевское рассеяние, интенсивность которого обратно пропорциональна

длине волны в четвертой степени. Неоднородности появляются как неизбежное зло в процессе изготовления оптоволокна. Как правило, чем ниже температура осаждения стеклообразующего вещества, тем меньше флуктуации плотности материала. При длине волны 1000 нм потери за счет рассеяния составляют порядка 0,75 дБ/км.

Потери, вызванные микро- и макроизгибами волокна, неизбежны всякий раз, когда волокно имеет отклонения от правильной геометрической формы или не размещено вдоль прямой линии. Микроизгибы носят случайный характер и являются вариациями профиля границы ядра и оптической оболочки, то есть фактически проявлением технологического дефекта. Макроизгибы являются следствием неправильной прокладки оптоволоконного кабеля. Кроме увеличения затухания, при этом снижается предел прочности кабеля на разрыв (максимально допустимая нагрузка на растяжение или изгиб, не приводящая к повреждению световода; для стандартного оптоволоконного кабеля фирмы *Siemens* – до 800 Н при кратковременном воздействии).

Потери, связанные с отражением на концах световода, обусловлены отражением Френеля, о котором говорилось ранее. Следует отметить фундаментальное отличие между оптическим кабелем и медным (витая пара, коаксиал): в случае медного проводника потери в линии пропорциональны увеличению частоты передаваемого сигнала, в то время как потери в оптическом волокне практически постоянны для широкого диапазона частот (рис. 8.4).

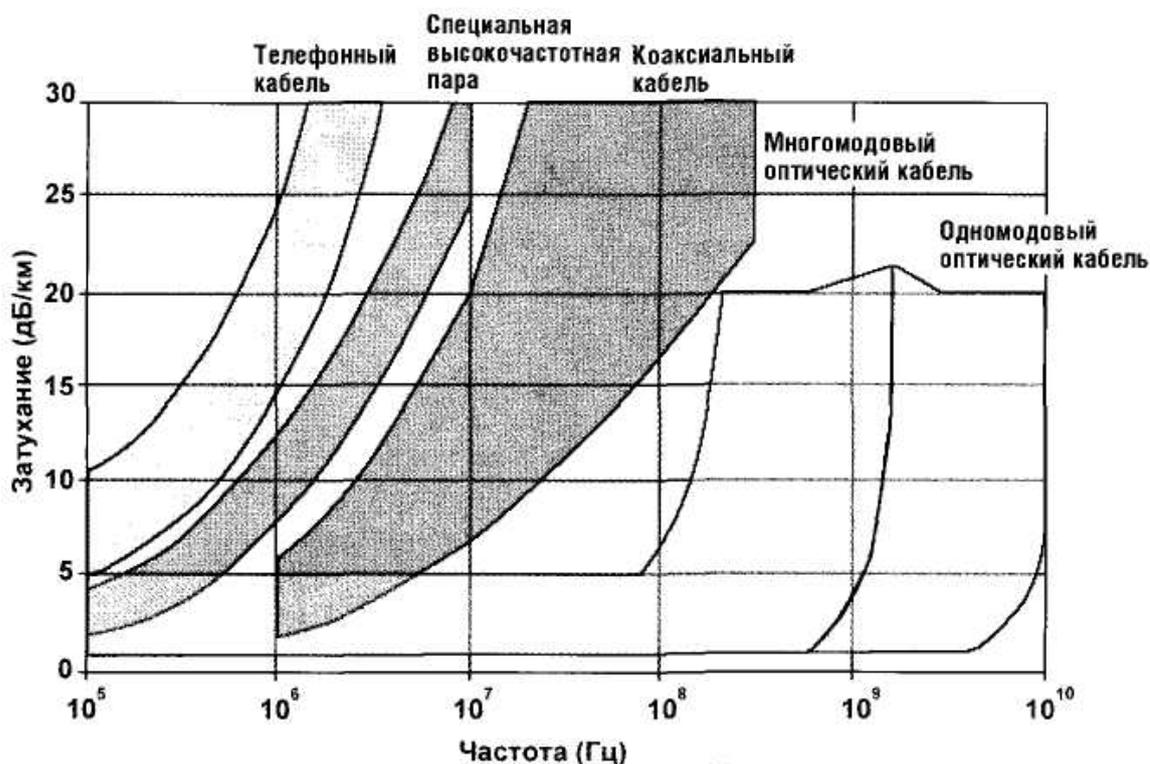


Рис. 8.4. Зависимость затухания от частоты передаваемого сигнала для разных типов проводников

С точки зрения скорости передачи оптоволокну имеет неоспоримые преимущества: в 2001 году фирмой *Alcatel* был установлен рекорд скорости по оптоволокну проложенному под водой без повторителей, на расстояние 320 км сигнал передавался со скоростью 1,6 Гбит/с.

8.2. Особенности проектирования волоконно-оптических линий связи

В отличие от традиционных электрических и трубных проводок при проектировании ВОЛС следует в проекте давать рекомендации по монтажу, способам сращивания и разделки оптических кабелей (ОК), а также требуемой аппаратуры и приспособлений для производства монтажных работ.

Волоконно-оптические линии связи, как правило, следует выполнять открытыми по поверхностям стен, перекрытиям, фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений.

Скрытые линии связи, прокладываемые внутри конструктивных элементов зданий и сооружений, допустимы в случаях, когда это диктуется требованиями архитектурного оформления помещения.

Проходы оптических кабелей через стены и перекрытия выполняются открыто с помощью гильз или патрубков (отрезков труб), заделанных в стены и перекрытия.

Открытые проходы не требуют уплотнения или уплотняются легко-

съемными материалами.

Монтаж проходов в стенах и перекрытиях зданий и сооружений должен производиться в соответствии с рабочими чертежами проекта и согласно требованиям РМ8-1 – 70 «Указания по проектированию и монтажу проходов трубных и электрических проводок приборов и средств автоматизации через стены и перекрытия зданий и сооружений».

Способ выполнения ВОЛС должен выбираться в зависимости от условий окружающей среды, назначения помещения, расположения оборудования, удобства эксплуатации и особенностей строительных конструкций и архитектурного оформления, интерьеров зданий и сооружений.

Волоконно-оптические линии связи выполняют, как правило, следующими способами:

- непосредственно по поверхностям стен помещения и конструкциям зданий и сооружений;
- на кабельных конструкциях;
- на лотках;
- в пластмассовых и стальных коробах с открывающимися крышками, в пластмассовых и стальных защитных трубах, в металлорукавах, на тросе, в кабельной канализации, в земле.

Трасса ОК должна выбираться по кратчайшим расстояниям, с наименьшим числом поворотов, подъемов и спусков с соблюдением условий защиты от механических повреждений и вибрации.

Запрещается использовать для прокладки ОК вентиляционные каналы и шахты, лестничные клетки и т.п.

При наличии у зданий (помещений) карнизов или иных выступающих частей ОК рекомендуется прокладывать под ними.

Разметку трасс производят в соответствии с требованиями РМ8-13 – 78 «Инструкция по прокладке кабелей и проводов связи в коробах и защитных трубах».

Открытую прокладку незащищенных ОК непосредственно по стенам (основаниям) следует выполнять на высоте не менее 2 м от уровня пола или площадки.

В помещениях, доступных только для специально обученного персонала, высота открыто проложенных незащищенных ОК не нормируется.

В местах, где возможны механические повреждения ОК, последние должны быть защищены трубами, коробами, перфорированными профилями, металлическими уголками, металлорукавами и т.п.

Вертикальные участки открыто проложенных ОК защищают на всем протяжении участка, начиная с 2 м и до уровня пола.

Прокладку ОК ведут при температуре воздуха не ниже минус 15 С при относительной влажности не более 80%.

Расстояние между точками крепления открыто проложенного кабеля должно быть 1 м. Оптический кабель должен быть закреплен так, чтобы стрела провеса могла образовываться только под действием собственной

массы и не должна превышать 0,5% длины пролета.

Под металлические скобы необходимо устанавливать прокладки из листовой резины толщиной $\delta_{\text{п}} = 1 \div 2$ мм или иного аналогичного материала.

Радиус поворота ОК должен быть не менее 20 наружных диаметров прокладываемого кабеля.

Тяговые усилия не должны превышать значений, указанных в паспорте ОК. Во время протяжки кабеля необходимо применять ограничители тяговых усилий. Допустимое тяговое усилие определяют по выражению

$$F = gml/f, \quad (8.7)$$

где F – допустимое тяговое усилие, Н; g – ускорение свободного падения, м/с^2 , m – масса кабеля, кг/м, l – длина пролета, м, f – коэффициент трения материала оболочки кабеля по материалу, поддерживающей конструкции.

Во всех случаях протяжку кабеля необходимо осуществлять, используя только силовые элементы ОК (стеклонити, проволоки и т.п.) и защитную оболочку.

На поворотах ОК необходимо закреплять с двух сторон угла на расстоянии, равном допустимому радиусу изгиба кабеля, но не менее 100 мм, считая от вершин углов.

8.3. Конструкция и марки применяемых оптических кабелей

Оптические кабели изготавливаются одно- и многоволоконными. Конструкция ОК приведена на рис 8.5.

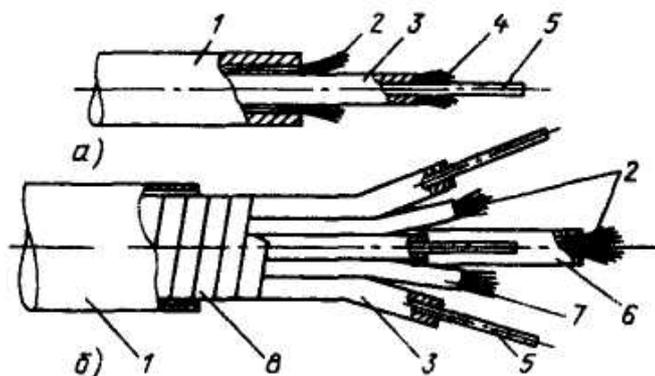


Рис. 8.5. Одно- (а) и четырехволоконный (б) оптические кабели:
 1 – защитная полиэтиленовая оболочка; 2 – упрочняющие нити;
 3 – оптический модуль, 4 – демпфирующие эластичные нити,
 5 – волоконный световод, 6 – силовой модуль, 7 – разделительный
 (заполняющий) модуль, 8 – скрепляющая полиэфирная лента

Оптические кабели отечественного производства имеют оптические волокна двух типов: кварцевые и кварц-полимерные с градиентным и сту-

пенчатым профилем показателя преломления.

Технические характеристики отечественных оптических волокон приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Технические характеристики оптических волокон

Характеристика	Показатель преломления волокна			
	кварцевого		кварц-полимерного	
	градиентного	ступенчатого	градиентного	ступенчатого
Диаметр, мкм:				
седцевины оптического волокна	50	50	200	400
светоотражающей оболочки	125	125	300	600
полимерно-защитного покрытия	600	600	600	600
Ослабление (затухание), дБ/км, на длинах волн:				
0,85 мкм	5	5	20	50
1,3 мкм	10	10	20	50
Ширина пропускания, МГц/км, не менее	200; 500	40	25	–
Разрывное усилие, Н, не менее	15	15	40	50
Минимально допустимый радиус изгиба, мм	3	3	8	15
Суммарное допустимое тяговое усилие при перемотке на транспортировочные барабаны, Н	4	4	5	5

Отечественные оптические кабели с числом оптических волокон (ОВ) четыре и более имеют центральный упрочняющий элемент, вокруг которого уложены спиральной скруткой оптические модули, защищенные фторопластовой трубкой. Наружный диаметр трубки 2,5 мм, шаг скрутки не менее 15 наружных диаметров по скрутке. Внутри фторопластовой трубки уложено ОВ и упрочняющие нити, пропитанные гидрофобным составом. Поверх кабельной скрутки наложена оболочка из поливинилхлоридного пластика.

Основные характеристики некоторых отечественных типов оптических кабелей приведены в табл. 8.4.

Технические характеристики оптических кабелей

Характеристика	Значение характеристики для кабеля марки		
	СМ	СБ	ОК
Номинальный диаметр кабеля, мм	1,5	2,8; 4,8; 5,8	4,5
Ослабление, дБ/км, не более	20	20	5
Допустимое тяговое усилие, Н	20	500	50
Допустимая продавливающая нагрузка, Н/см	100	100	50
Номинальная масса, кг/м	От 7 до 36,1		

Примечание. Профиль показателя преломления для кабелей марок СМ и СБ – ступенчатый, для ОК – градиентный

8.4. Виды соединений оптических кабелей

Одним из ответственных решений при проектировании является выбор вида соединения оптоволоконного (ОВ) кабеля.

Соединение ОВ может быть разъемным и неразъемным. Выбор вида соединения ОВ и качество выполнения является одним из определяющих факторов дальности и качества связи по ОК.

Для разъемного соединения применяют механическое соединение при помощи:

- соединительных втулок, муфт (розеток);
- разъемных соединителей (аналог штекерного соединения);
- металлических (прецизионных) наконечников.

Для неразъемного соединения ОВ применяют электродуговую сварку или клеевой метод.

Соединители ОВ представляют собой устройства, предназначенные для точного совмещения и соосности торцов ОВ, фиксации соединяемых волокон и для механической защиты стыка (сростка) волокон.

Соединительные муфты применяют для защиты места соединения (сростка) ОВ от механических воздействий. Наличие силового элемента (металлической платы) в муфте позволяет надежно фиксировать место стыка (спая) ОВ, исключать растягивающие воздействия как на место стыка (спая), так и на волокно.

При соединении ОВ возникают потери передаваемого сигнала, которые условно разделяют на две группы.

К первой группе относятся потери, вызываемые радиальным смещением осей световодов (ОВ), угловым рассогласованием, зазорами между торцами ОВ, качеством обработки поверхности торцов соединяемых ОВ (наличием царапин, сколов, микронеровностей, неперпендикулярностью торца оси ОВ).

К второй группе относятся потери, вызванные различием числовых апертур стыкуемых ОВ, диаметров сердечников, неконцентричностью и эллиптичностью соединяемых ОВ.

После каждого соединения необходимо проводить измерение затухания сигнала.

Степень затухания сигнала определяется коэффициентом затухания

$$d = 1/l10\lg(P_1/P_0). \quad (8.8)$$

где d – коэффициент затухания (ослабления), дБ/км, P_0 – мощность, введенная в начало кабеля; P_1 – мощность на конце кабеля, l – длина кабеля, км.

Подготовка концов ОВ к их соединению состоит из следующих операций:

- удаление защитной оболочки,
- удаление покрытия с оптического волокна;
- обработка торца ОВ (скол, шлифование, полирование и т.п.).

Для разъёмных соединений качественная обработка торца (шлифование и полирование) возможна только в условиях мастерских с необходимым оборудованием.

Для неразъёмных соединений, выполняемых методом электродуговой сварки, необходимо выполнить качественное удаление покрытия с ОВ и произвести скол так, чтобы на торце не было трещин, выступов и впадин.

Для неразъёмных соединений, выполняемых клеевым методом, кроме выполнения условий сварки необходимо добиваться, чтобы после скола ОВ торец волокна был абсолютно плоским и строго перпендикулярен оптической оси волокна.

Контроль за качеством обработки торца выполняют при помощи микроскопов.

Метод электродуговой сварки. Соединение ОВ методом электродуговой сварки наиболее эффективно для монтажа магистральных ОК при недостаточных строительных длинах, подключении многоволоконных кабелей к аппаратуре путем перехода на одноволоконные кабели, оконцованные накопечниками. Соединение сваркой дает потери на стык 0,1–0,5 дБ.

При соединении ОВ электродуговой сваркой необходимо в проекте определить технологию выполнения работ, предусматривающих следующие операции, подготовку ОВ к сварке, сварку ОВ, проверку качества сварки, нанесение защитного покрытия на места сварки (спая) ОВ и соединения ОК.

Подготовка ОВ к сварке:

1) уложить соединяемые концы ОК параллельно друг другу на монтажный стол и закрепить.

Концы ОК должны перекрывать друг друга на 200–300 мм;

2) произвести разделку конца одноволоконного кабеля (рис. 8.6);

3) протереть сращиваемые концы ветошью, смоченной в бензине;

4) удалить с кабеля полиэтиленовую оболочку. Для этого производят поперечный и продольный разрезы защитной оболочки так, чтобы нож инструмента прорезал не более $2/3$ ее толщины;

5) перенести маркировку ОВ с концов к торцу (краю) оболочки и отрезать излишки ОВ;

6) снять с ОВ полиамидное, кремнийорганическое (сиэл) покрытие при помощи инструмента на расстоянии 35 мм от торца ОВ.

Очистить ОВ от остатков покрытия (сиэла) плотной тканью, смоченной в спирте;

7) при помощи микроскопа или пятикратной лупы произвести визуальный контроль качества снятия кремнийорганического покрытия;

8) надеть отрезки термоусаживаемых трубок (ТУТ) на ОВ.

Длина отрезков ТУТ должна быть 50 мм. Диаметр ТУТ выбирают по диаметру ОВ с защитным покрытием;

9) произвести скол ОВ при помощи инструмента для резки оптического моноволокна. Торец ОВ должен быть плоский и перпендикулярный оси волокна. На торце не должно быть выступов, трещин и впадин.

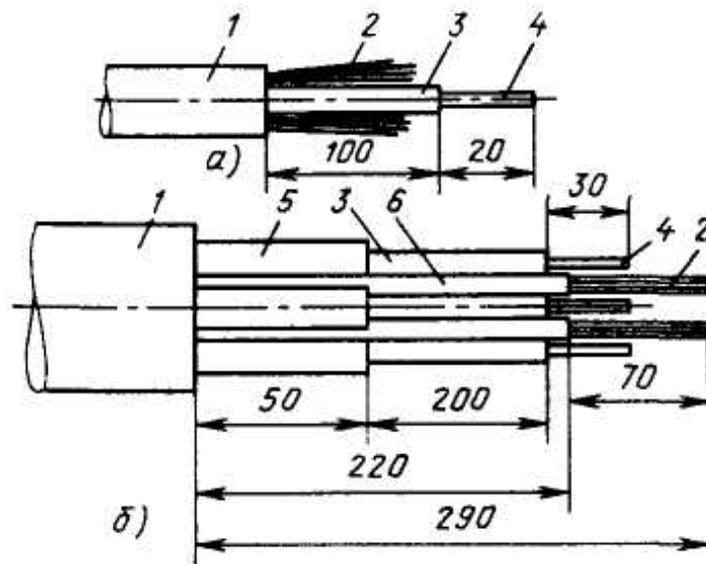


Рис. 8.6. Разделка конца одно- (а) и многоволоконного (б) оптического кабеля: 1 – защитная оболочка; 2 – упрочняющие нити; 3 – защитное покрытие оптического волокна; 4 – оптическое волокно без покрытия, 5 – защитная трубка оптического модуля, 6 – разделительный модуль

При помощи микроскопа произвести визуальный контроль полученного торца. При неудовлетворительных результатах операцию скола ОВ повторить. Проверку качества скола можно также рекомендовать по схеме рис. 8.7. Хороший скол дает симметричное круглое диаметром D пятно света на экране, расположенном на расстоянии примерно $l = 300$ мм от торца ОВ.

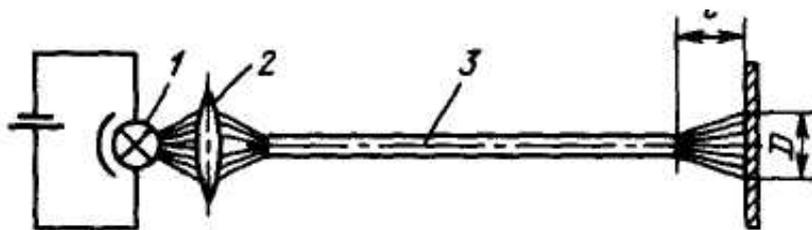


Рис. 8.7. Схема проверки качества скола
торца ОВ оптического кабеля:

1 – источник излучения мощностью 1,5 Вт;
2 – фокусирующая линза; 3 – оптический кабель

Операции при сварке оптических волокон:

- 1) подготовить устройство для сварки ОВ согласно инструкции по эксплуатации;
- 2) закрепить концы свариваемых ОВ в зажимах устройства и отъюстировать ОВ в двух плоскостях;
- 3) свести торцы ОВ, оставляя зазор равный $1/2 - 1/3$ диаметра ОВ, и убедиться в точности юстировки;
- 4) произвести сварку ОВ согласно инструкции по эксплуатации сварочной установки.

Проверка качества сварки:

1) с помощью микроскопа визуально проверить качество полученного стыка (спая). Стык (спай) не должен иметь пузырьков, неровностей и должен иметь вид, представленный на рис. 8.8;

2) произвести контроль качества сварки рефлектометрическим методом.

Затухание сигнала в стыке должно быть не более 0,5 дБ;

3) в случае получения неудовлетворительного стыка или результатов измерений стык считается некачественным и подлежит переделке.

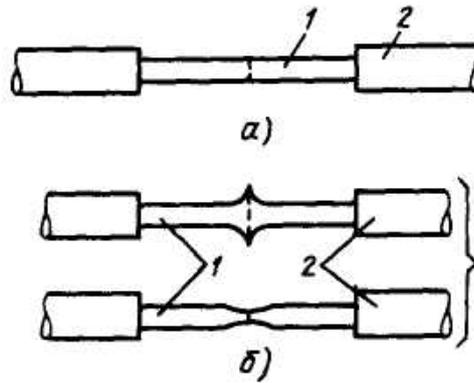


Рис. 8.8. Правильно выполненные сваркой (а) и дефектные (б) стыки ОВ оптических кабелей:

1 - оптическое волокно, 2 - защитное покрытие ОВ

Нанесение защитного покрытия на соединяемые ОВ:

- 1) защитное покрытие стыка ОВ выполняют при помощи ТУТ;
- 2) вывести ОВ из зоны сварки, закрыть место сварки ТУТ и уложить в защитную гильзу (желобок) из жести.

Закрепить ОВ в гильзе (желобке) путем смятия стенок на концах гильзы. Усадить ТУТ;

- 3) на каждое соединение ОВ, выполняемое сваркой, должен быть составлен паспорт.

При соединении многоволоконных кабелей такой же паспорт составляют на муфту.

Соединение с помощью разъемного соединителя по рис. 8.9.

Разъемный соединитель (рис. 8.9) многократного использования предназначен для соединения ОВ с пластмассовым покрытием.

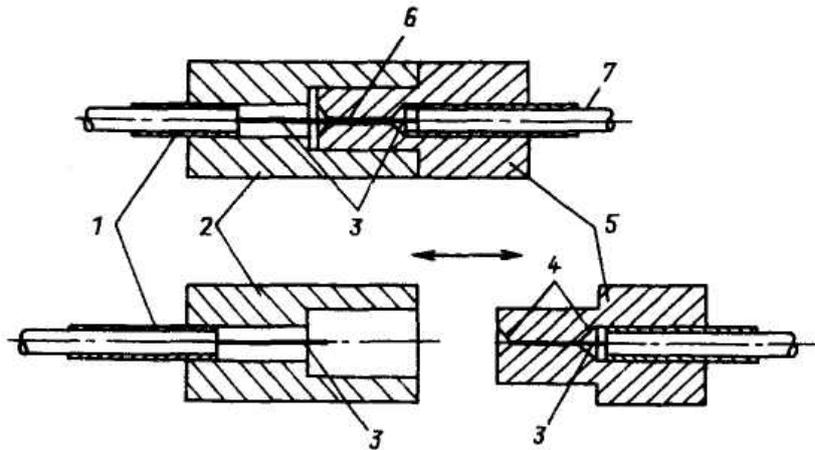


Рис. 8.9. Разъемный соединитель многократного действия для соединения ОВ с пластмассовым покрытием:

1 – стальные трубки; 2 – гнезда; 3 – световоды; 4 – конические каналы; 5 – штуцера; 6 – иммерсионная жидкость; 7 – оптический кабель

Штыревая часть соединителя имеет с обеих сторон конические каналы (диаметр отверстия конического канала является единственным критическим размером). В штыревую часть и гнездо соединителя вставляют концы ОВ, подготовленные так же, как для соединения сваркой.

Фиксация ОВ осуществляется сжатием концов трубок из стали, находящихся в хвостовике, или приклеиванием к трубкам кабеля эпоксидной смолой. Перед соединением в зазор между ОВ и трубкой вносят иммерсионную жидкость.

Штыревая часть и гнездо фиксируются между собой накидной гайкой. Потери в соединении составляют 0,35–10,5 дБ.

Соединение металлическими наконечниками. Металлические наконечники монтируются на конце ОВ. Для этого с конца ОВ снимают защитное покрытие длиной не менее 40 мм. Затем надевают наконечник так, чтобы ОВ выступало из него на 15-20 мм (рис. 8.10).

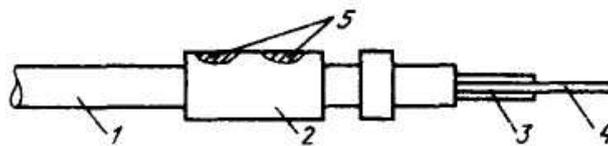


Рис. 8.10. Заделка металлического наконечника на конце ОВ:

1 – оптическое волокно с защитным покрытием; 2 – металлический наконечник; 3 – капилляр – стеклянная трубка; 4 – волокно без покрытия; 5 – отверстия для заливки эпоксидной смолы

На выступающий конец ОВ надевают капилляр (стеклянную трубку с отверстием) длиной 10 мм. Капилляр устанавливают в наконечник так, чтобы

конец выступал на 1 – 2 мм. На ОВ и капилляр наносят слой эпоксидной смолы.

Эпоксидную смолу заливают в отверстие наконечника для фиксации ОВ. Затем торец волокна шлифуют и полируют. Торец должен быть обработан с чистотой 0– 10 по ГОСТ 11141-84.

Соединение ОВ производят при помощи втулки с резьбой и накидных гаек, которые позволяют плотно стыковать ОВ (рис. 8.11).

Потери составляют 0,3 – 0,5 дБ. При каждом переходе стекло – воздух или воздух – стекло потери составляют 0,15 дБ.

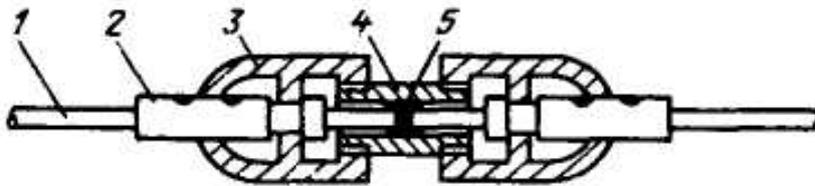


Рис. 8.11. Соединение ОВ металлическими наконечниками:

1 – оптическое волокно; 2 – металлический наконечник; 3 – накидная гайка; 4 – соединительная втулка; 5 – иммерсионная жидкость

Соединение ОВ при помощи втулок. Для соединения применяют прецизионные втулки, диаметры которых равны наружным диаметрам ОВ (рис. 8.12). Трубки фиксируют и юстируют ОВ.

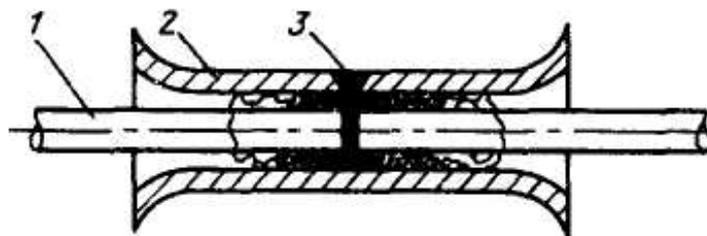


Рис. 8.12. Соединение ОВ с помощью втулок:

1 - оптическое волокно без покрытия; 2 – втулка; 3 – иммерсионная жидкость

Трубки должны иметь коническую форму на концах, что облегчает ввод ОВ. В средней части трубки должно быть отверстие для ввода иммерсионной жидкости, служащей для согласования показателей преломления ОВ. Среднее ослабление сигнала в соединении составляет 0,3 дБ.

В качестве иммерсионной жидкости могут быть использованы глицерин или кремнийорганические жидкости типа СКТНМФ со светопропусканием не менее 95%.

Монтаж муфт при соединении ОК. Монтаж муфт производят на монтажном столе при соединении ОК.

Для соединения многоволоконных ОК применяют металлические и полиэтиленовые цилиндрические муфты (рис. 8.13).

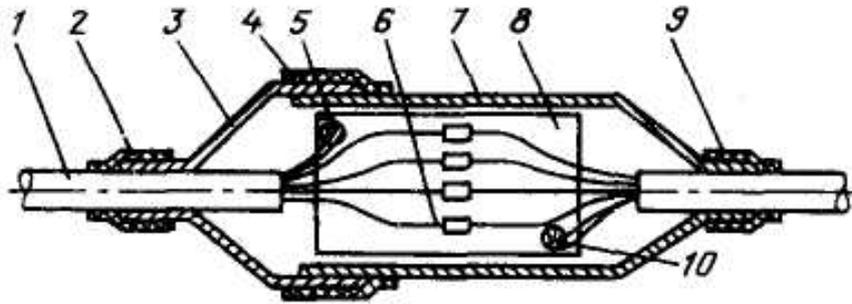


Рис. 8.13. Соединение многоволоконных ОК с помощью цилиндрической муфты:

- 1 – оптический кабель; 2, 4 и 9 – отрезки ТУТ; 3, 7 – корпуса муфт;
5, 10 – узлы крепления силовых элементов ОК; 6 – оптические волокна;
8 – металлическая пластина (плата)

При монтаже на оболочку кабелей у патрубков муфты и на стык муфты перед надвижкой обрезков ТУТ следует намотать в один слой сэвилен.

В качестве корпуса соединительной муфты (для соединения одноволоконных ОК) могут применяться ТУТ типа ТТЭ (рис. 8.14).

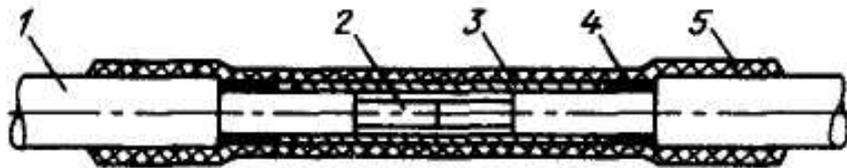


Рис. 8.14. Соединение одноволоконных ОК с помощью ТУТ:

- 1 – оптический кабель; 2 – оптическое волокно; 3 – защитная гильза; 4 – упорняющие нити; 5 – термоусаживаемая трубка

8.5. Прокладка оптических кабелей

Оптические кабели, как и электрические, можно прокладывать по бетонным и кирпичным основаниям (стенам), в защитных трубах (пластмассовых и металлических), на лотках и в коробах, на тросе, в кабельной канализации, в земле.

После прокладки оптические кабели подвергают контролю путем измерения затухания ОВ и проверки отсутствия в них обрывов и неоднородностей.

Результаты измерений заносят в протокол.

Дефекты монтажа, обнаруженные в процессе приемки и сдачи оптических кабелей и влияющие на работоспособность объекта должны быть уст-

ранены монтажной организацией после чего ОК должны быть повторно предъявлены заказчику.

Дефекты, не влияющие на работоспособность кабелей устраняются в процессе приемки при этом ОК вновь к сдаче не предъявляются.

Рассмотрим особенности прокладки оптических кабелей.

Прокладка ОК по бетонным и кирпичным основаниям (стенам). В качестве отдельных креплений для одиночных ОК прокладываемых по основаниям (стенам) применяют (рис. 8.15):

- закладные пряжки типа Л165 УХЛ2 в комплекте с лентами типа К226УХЛ2, лентами ЛМ и полоски с пряжками типа К404УХЛ2;
- скобки металлические с одной или двумя лапками;
- скобки пластмассовые типа У641УХЛ2;
- держатели металлические и пластмассовые.

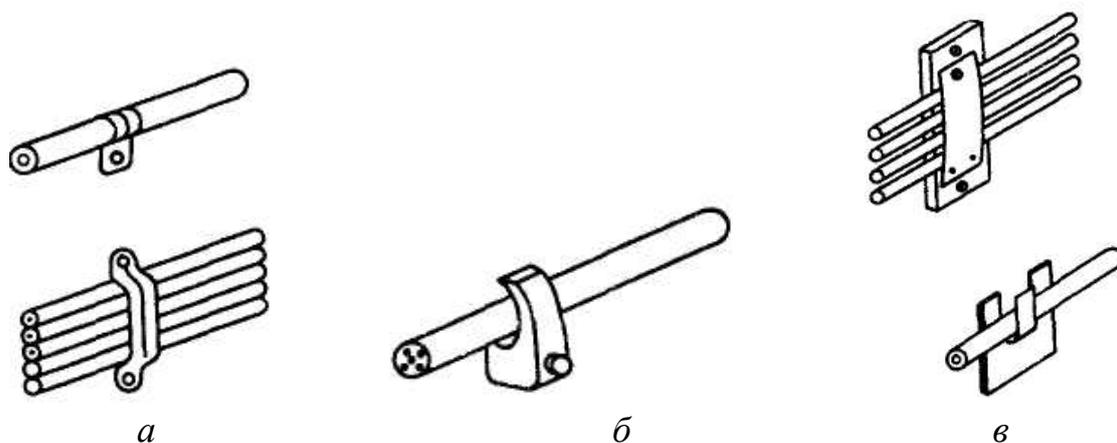


Рис. 8.15. Способы закрепления оптических кабелей:
а – металлическими скобками; *б* - пластмассовыми пружинящими скобками типа УБ41УХЛ2; *в* – держателями

Закрепление деталей к основаниям осуществляют при помощи дюбелей забиваемую вручную или пиротехническим инструментом. Детали, предназначенные для крепление одноволоконных кабелей целесообразно крепить с помощью клея на эпоксидной основе.

Возможно применение распорных пластмассовых дюбелей с шурупами. Для прокладки пучков ОК применяют стальные полосы или ленты шириной 16 – 20 мм и толщиной 0,8 – 1,5 мм, полосы перфорированные ПП30, уголки перфорированные УП35×35 швеллеры перфорированные ШП32×16.

Полосы или ленты крепятся к строительным основаниям на металлических подкладках толщиной 2 – 3 мм дюбелями забиваемыми с помощью пиротехнического инструмента (к бетонным и кирпичным основаниям) и шурупами (к деревянным основаниям).

Полосы и ленты прокладываемые по металлоконструкциям и закладным деталям допускается крепить электросваркой в отдельных точках.

Оптические кабели и пучки к металлическим полосам и лентам крепят с помощью монтажных лент типа ЛМ, полосок-пряжек и т.п. (рис. 8.16).



Рис. 8.16. Прокладка ОК по стальной полосе:

- 1 – стальная полоса; 2 – оптический кабель; 3 – полоска-пряжка;
4 – монтажная лента ЛМ

Крепление перфорированных изделий осуществляют распорными дюбелями с винтами (шурупами).

Отверстия для установки дюбелей делают с помощью электрических перфораторов.

Прокладка ОК в защитных трубах (пластмассовых и металлических). Защитные трубы устанавливают в соответствии с требованиями ОТТ4.220 – 85 и типового технологического процесса ТТП4.01200 22000 «Монтаж защитных труб для электрических проводов».

Для протяжки ОК должны применяться устройства против закрутки (рис. 8.17, а), которое устанавливается между тросом и устройством для протяжки ОК (рис. 8.17, б).

Оптический кабель присоединяют к устройству следующим образом:

- на конец ОК надевают ТУТ, подобранную по наружному диаметру кабеля;
- к штоку устройства присоединяют силовые элементы кабеля (нити, проволоку и т.п.);
- надвигают ТУТ на утолщение штока и усаживают;
- наворачивают втулку на шток до упора.

Перед протяжкой необходимо продуть трубы тальком.

Протяжку ОК осуществляют вручную или с применением ручных лебедок с тяговым усилием не более 300 Н.

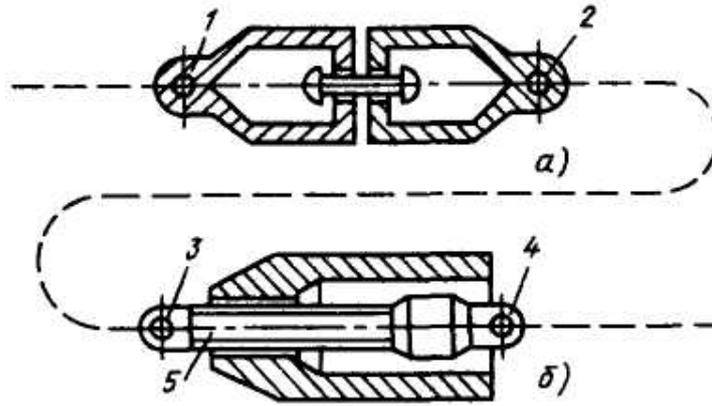


Рис. 8.17. Устройства против закрутки (а) и для протяжки (б) ОК:
 1 – отверстие для присоединения троса от тянущей лебедки;
 2, 3 – отверстия для соединения тросом устройств а и б;
 4 – отверстие для закрепления ОК; 5 – шток

Монтажник, находящийся у лебедки, должен иметь постоянную связь (зрительную, по радио и т.п.) с монтажником, находящимся у барабана с ОК. Если ОК оконцован наконечниками, необходимо перед протяжкой защитить их отрезками ТУТ или липкой поливинилхлоридной лентой.

Прокладка ОК на лотках и в коробах. Установку лотков и коробов ведут в соответствии с требованиями ОТТ4.210 – 84 и типового технологического процесса ТПП4 012002100 «Монтаж металлоконструкций для прокладки электрических проводок».

Прокладка ОК на лотках, как правило, осуществляется в один слой.

Прокладка ОК в коробах осуществляется:

- четырех- и восьмиволоконных в один слой;
- одно- и двухволоконных не более чем в два слоя;

Не допускается прокладка ОК в одном лотке, коробе совместно с электрическими кабелями.

Оптический кабель на лотках должен быть закреплен через 2 м.

В коробах с открывающимися крышками ОК крепят на вертикальных участках.

Прокладку ОК на лотках и в коробах осуществляют вручную.

Прокладка ОК на тросе. На тросе прокладывают волоконные ОК, имеющие центральный армирующий элемент (например, кабели типа ОК-50-2-5-4).

Наиболее предпочтительна тросовая прокладка пучков ОК (не менее трех ОК в пучке).

Крепление одиночных кабелей и пучков ОК к тросу осуществляют алюминиевыми полосками с пряжками, пластмассовыми лентами с кнопками
 Шаг крепления 100 – 200 мм.

Длина пролета тросовой проводки ОК без промежуточной опоры должна быть не более 50 м.

Несущие тросы крепят к концевым анкерам строительных конструкций через натяжные муфты.

В качестве несущих тросов применяют стальные канаты-тросы диаметром 1,95 мм. Для прокладки одно- и двухволоконных кабелей типов СМ50-5, СБ50-5, СБ200-7 должны применяться металлорукава типа РЗ Ц Х с наружным диаметром 16 мм.

Прокладку ОК осуществляют в следующей последовательности:

- металлорукав крепят к тросу при помощи алюминиевых полосок с пряжками шаг крепления 200-300 мм;
- трос с металлорукавом крепят к анкерам;
- ОК затягивают в металлорукав.

Прокладка ОК в кабельной канализации. Строительные длины ОК должны быть предварительно распределены по пролетам с учетом расстояний между колодцами, запасов для выкладки ОВ в муфтах, отходов при монтаже муфт.

До затягивания ОК в свободный канат необходимо проверить проходимость последнего пробным цилиндром.

Прокладка ОК в земле (траншее). Прокладку ОК в земле (траншее) ведут кабелем, допускающим такую эксплуатацию.

Контрольные вопросы

1. Поясните основные физические понятия оптоволоконных технологий передачи информации.
2. Нарисуйте конструкцию оптоволоконна.
3. Достоинства волоконно-оптических линий связи в качестве физической среды передачи данных.
4. Назовите особенности проектирования волоконно-оптических линий связи.
5. Поясните конструкцию и назовите известные вам марки оптических кабелей.
6. Какие виды соединений оптических кабелей вы знаете?
7. Назовите особенности прокладки оптических кабелей.

9. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Для защиты людей от поражения электрическим током применяются защитные меры электробезопасности. К ним относятся защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, применение малых напряжений, двойной изоляции, защитного отключения, разделяющих трансформаторов, ограждений [1,7]. Заземление и зануление являются наиболее распространенными и эффективными защитными мерами. Кроме того, надежное заземление обеспечивает высокую степень взрывозащиты входных и выходных каналов систем автоматизации и управления, что, в конечном счете, повышает ресурс производства в целом.

Поражения или травмы от электрического тока происходят под воздействием как высоких, так и низких напряжений. Большинство несчастных случаев происходит в электроустановках напряжением 380/220 В, с которыми часто имеют дело люди без специальной подготовки. В системах электропитания установок автоматизации наибольшее распространение имеют именно эти напряжения

Защитные мероприятия от поражения электрическим током в электроустановках систем автоматизации должны выполняться в полном объеме, как и в любых других электроустановках, с соблюдением всех требований «Правил устройства электроустановок».

9.1. Основные понятия по защите людей от поражения электрическим током, используемых в «Правилах устройства электроустановок»

Электроустановки напряжением до 1000 В с **глухозаземленной нейтралью** – электроустановки, в которых нейтраль трансформатора или генератора присоединена к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Электроустановки напряжением до 1000 В с **изолированной нейтралью** – электроустановки, в которых нейтраль трансформатора или генератора не присоединена к заземляющему устройству или присоединена к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, дугогасящие реакторы и др., имеющие большое сопротивление.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством.

Защитное заземление – заземление частей электроустановки с целью обеспечения электробезопасности.

Зануление – преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземлен-

ным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

Замыкание на корпус – случайное соединение находящихся под напряжением частей машин, аппаратов, линий на их конструктивные части, нормально не находящиеся под напряжением.

Заземлитель – проводник (электрод) или совокупность металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземленные части с заземлителями.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Нулевой защитный проводник – проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в *сетях* трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

Нулевой рабочий проводник в электроустановках напряжением до 1000 В – проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в *сетях* трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока. В электроустановках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью нулевой проводник выполняет функции нулевого как рабочего, так и защитного проводника.

Магистраль заземления и зануления – соответственно заземляющий или нулевой проводник с двумя или более ответвлениями.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Двойная изоляция – совокупность рабочей и защитной (дополнительной) изоляции, при которой доступные прикосновению части электроприемника не приобретают опасного напряжения при повреждении только рабочей или защитной (дополнительной) изоляции

Малое напряжение – номинальное напряжение не более 42 В между фазами и по отношению к земле, принимаемое в электрических установках для обеспечения электробезопасности.

Разделяющий трансформатор – трансформатор, служащий для электрического отделения сети, питающей электроприемники, от первичной электрической сети, а также от сети заземления или зануления.

Защитное отключение в электроустановках напряжением до 1000 В – автоматическое отключение всех фаз (полюсов) аварийного участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его протекания при замыканиях на корпус или снижении сопротивления изоляции ниже определенного значения.

Помещения с повышенной опасностью поражения электрическим током – помещения, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости или проводящей пыли; токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т.п.); высокой температуры; возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п. с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Особо опасные помещения в отношении поражения электрическим током – помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости; химически активной среды; одновременного наличия двух и более условий повышенной опасности.

Помещения без повышенной опасности поражения электрическим током – помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную опасность и особую опасность.

Зануление имеет ряд принципиальных отличий от защитного заземления. При выполнении защитного заземления (рис. 9.1) в электроустановках с изолированной нейтралью все металлические корпуса электроприемников и металлические конструкции, которые могут оказаться из-за повреждения изоляции под опасным напряжением, преднамеренно соединяются с землей.

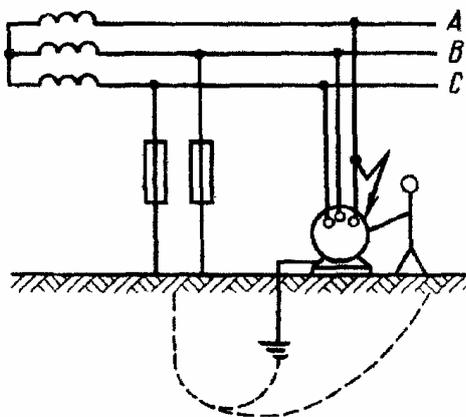


Рис. 9.1. Заземление электроприемника

Как видно из рис. 9.1, при наличии заземления человек, прикасающийся к заземленному корпусу, оказавшемуся под напряжением, присоединен параллельно цепи замыкания на участке между корпусом и землей.

Таким образом, назначение защитного заземления заключается в том, чтобы создать между корпусом защищаемого электроприемника и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением для того, чтобы в случае замыкания на корпус этого электроприемника прикосновение к корпусу человека (параллельное прикосновение) не могло вызвать прохождение через его тело такого тока, который угрожал бы жизни или здоровью.

Отсюда следует, что для обеспечения безопасности пригодно не всякое соединение с землей, а только имеющее достаточно малое сопротивление, во много раз меньшее сопротивления тела человека. Тогда основная часть тока замыкания будет проходить через землю, а ток, проходящий через тело человека, будет мал, и опасность прикосновения к заземленному корпусу не возникнет.

Максимально допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств устанавливаются ПУЭ и составляют в электроустановках до 1000 В с изолированной нейтралью 4 Ом, в электроустановках напряжением 220 и 380 В с глухозаземленной нейтралью соответственно 8 и 4 Ом.

Сопротивление тела человека зависит от многих факторов и колеблется в довольно широких пределах. При влажной, загрязненной коже рук сопротивление тела человека резко снижается и приближается к постоянному значению, которое соответствует внутреннему сопротивлению, т.е. около 1000 Ом.

Соединение заземляемых частей электроустановки с землей осуществляется с помощью заземлителей и заземляющих проводников, образующих заземляющее устройство.

При выполнении зануления в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (рис. 9.2) все металлические корпуса электроприемников и конструкции связываются электрически с заземленной нейтралью трансформатора через нулевой защитный провод (при защите трехфазного электроприемника – четвертым, как показано на рис. 9.2, при защите однофазного электроприемника третьим). Благодаря этому всякое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание и аварийный участок отключается предохранителем или автоматом.

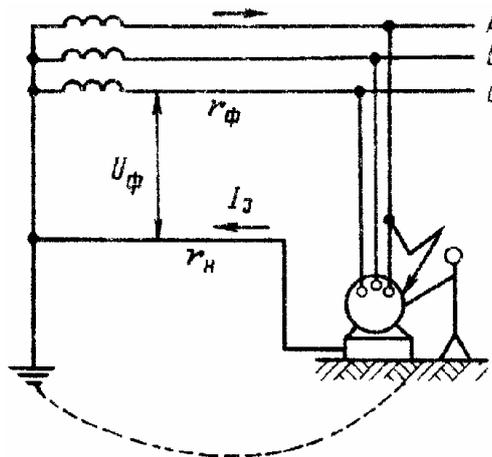


Рис. 9.2. Зануление электроприемника

Таким образом, в электроустановках с глухозаземленной нейтралью зануление выполняется так, что всякое замыкание на корпус электрооборудования превращается в короткое замыкание и аварийный участок отключается

ется аппаратом защиты, чем и достигается защита персонала от поражения электрическим током. В этом принципиальная разница между выполнением зануления в электроустановках с глухозаземленной нейтралью и защитного заземления в электроустановках с изолированной нейтралью, где защитное заземление призвано только снизить напряжение на корпусе оборудования до безопасного значения.

Заметим, что если в электроустановках с глухозаземленной нейтралью при замыканиях на корпус отключение аварийного участка не произойдет (например, не сработает аппарат защиты), то по цепи короткого замыкания будет длительно протекать ток замыкания и по отношению к земле возникнет напряжение не только на поврежденном корпусе, но и на всех заземленных корпусах электрооборудования данной электроустановки, поскольку они все электрически связаны общей сетью зануления. Это напряжение может оказаться значительным и, следовательно, опасным. Вот почему необходимо не только осуществлять правильный выбор уставок аппаратов защиты, сечений жил проводов и кабелей, сечений нулевых защитных проводников, но и производить проверку условий срабатывания предохранителей и автоматических выключателей.

Вопросы выполнения защитного заземления и зануления на промышленных объектах решаются в проектах электроснабжения и силового электрооборудования. В проектах автоматизации технологических процессов необходимо только предусмотреть выполнение заземления или зануления в электрической части этих систем, правильно связав систему автоматизации с заземляющим устройством автоматизированного объекта.

При проектировании АСУ ТП с использованием средств микропроцессорной техники особое внимание должно быть уделено вопросам зануления (защитного заземления) оборудования.

Приводятся также требования к возможности (необходимости) соединения индивидуального внешнего заземлителя с нулевой шиной распределительного щита питания управляющего вычислительного комплекса (УВК) с учетом требований разработчика средств вычислительной техники (ВТ) и характеристик питающей сети.

При размещении в одном помещении вычислительных машин разных типов (например, управляющих и универсальных машин в общем машзале) должна быть оговорена необходимость выполнения общего для всех машин индивидуального внешнего заземлителя и общей магистрали зануления (защитного заземления) в операторском пункте, при этом сопротивление заземляющего устройства должно быть минимальным из требуемых для каждого типа ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Поясните значение заземления и зануления в электроустановках систем автоматизации.
- 2. Поясните особенности заземления электроустановок с глухозаземленной и изолированной нейтралью.**
- 3. В чем особенности зануления и заземления?**

4. Поясните назначение защитное отключения в электроустановках.
5. Какие помещения относятся к помещениям с повышенной опасностью поражения электрическим током?
6. Какие помещения относятся к особо опасным помещениям от поражения электрическим током?

10. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10.1. Общие требования

Наибольшее распространение при автоматизации технологических процессов и производств получили электрические системы. Системы электропитания средств автоматизации являются своеобразной небольшой системой электроснабжения, электроприемниками которой являются различные приборы, аппараты, регулирующие устройства, электроприводы исполнительных механизмов, задвижек, вентилях и т.п. [1] Надежность электропитания определяет нормальную работу технологического процесса в целом. Перерыв в электропитании систем автоматизации может привести к тяжелым авариям.

Система электропитания должна обеспечить необходимую надежность (бесперебойность) питания, соответствующее качество электроэнергии (допустимые отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсацию напряжения), экономичность, удобство и безопасность обслуживания. Выбор схемы электропитания, рода тока, напряжения, аппаратов защиты и управления должен производиться с учетом принятых решений в системе электроснабжения автоматизируемого объекта.

10.2. Выбор напряжения и требования к источникам питания

Выбор напряжения. Для распределения электрической энергии на современных промышленных предприятиях наибольшее распространение получили четырехпроводные системы трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В с глухим заземлением нейтрали. В системах электропитания следует (по возможности) применять напряжения, принятые в распределительных сетях системы электроснабжения автоматизируемого объекта, которые могут быть использованы без дополнительного преобразования. Применение приборов, аппаратов и средств автоматизации с номинальным напряжением, отличным от имеющегося на автоматизируемом объекте, ведет к усложнению системы электропитания и требует специальных (*AS/AS*, *AS/DS*, *DS/DS*) преобразовательных устройств.

Системы трехфазного переменного тока 380/220 В с глухозаземленной нейтралью, 380 В с изолированной нейтралью и постоянного тока 110 и 220 В могут использоваться для питания стационарно установленных приборов, аппаратов и других средств автоматизации переменного и постоянного тока в помещениях всех категорий опасности в отношении поражения людей электрическим током.

В цепях управления электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) в помещениях всех категорий опасности в отношении поражения людей электрическим током допускается

применение того же напряжения, что и в главных (силовых) цепях электродвигателей, включая напряжение 400 В переменного и постоянного тока. При этом необходимо соблюдать требования к установке аппаратов управления и защиты, а также к выполнению зануления (заземления).

Питание схем производственной сигнализации рекомендуется осуществлять на напряжении системы электропитания приборов и средств автоматизации. Как правило, это 220 В переменного или постоянного тока. Однако часто возникает необходимость в применении миниатюрных сигнальных лампочек, позволяющих уменьшить место, занимаемое ими на щите или пульте. Эти лампочки требуют пониженных напряжений, и для их питания должны предусматриваться отдельные преобразователи.

Для производства ремонтных и других работ в процессе эксплуатации установок автоматизации необходимо иметь возможность пользоваться электрифицированным инструментом и переносным освещением. Напряжение питания электрифицированного инструмента (переносных ламп) должно быть не выше 220 В в помещениях без повышенной опасности и не выше 42 В в помещениях с повышенной опасностью (щитовые помещения относятся к помещениям с повышенной опасностью при нетокопроводящих полах и к особо опасным – при токопроводящих полах). При невозможности обеспечить работу электроинструмента на напряжении до 42 В допускается применение электроинструмента на напряжение до 220 В, но с обязательным использованием защитных средств (диэлектрических перчаток, бот) и надежного зануления (заземления) корпуса электроинструмента. Напряжение питания переносных ламп при наличии особо неблагоприятных условий (теснота, неудобное положение работающего, возможность соприкосновения с большими хорошо зануленными или заземленными поверхностями), а также при производстве работ вне помещений и в шкафовых щитах с внутренним проходом – 12 В.

Питание местного стационарного освещения фасадов щитов, переносного освещения и электрифицированного инструмента напряжением до 42 В должно осуществляться от понижающих трансформаторов с соблюдением требований зануления (заземления). Применение для этих целей автотрансформаторов не допускается, поскольку вероятность попадания высокого напряжения на обмотку с низким напряжением в автотрансформаторах выше, чем в трансформаторах.

Требования к источникам питания. В качестве источников питания приборов и средств автоматизации используются цеховые распределительные подстанции, распределительные щиты, питающие сборки системы электроснабжения автоматизируемого объекта, к которым не подключена резкопеременная нагрузка (крупные электродвигатели, электропечи и т.п.).

На зажимах электроприемников систем автоматизации допускаются следующие отклонения напряжения:

а) контрольно-измерительных приборов, регулирующих устройств и т.д. – не более значений, указанных заводами-изготовителями, в стандартах,

технических условиях и т.п.; при отсутствии указаний заводоизготовителей – $\pm 5\%$ номинального значения напряжения;

б) электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) – от -5 до $+10\%$ номинального значения напряжения;

в) электроламп схем сигнализации (если для них с целью продления срока службы не предусматривается пониженное напряжение), ламп освещения щитов – от $-2,5$ до 5% номинального значения напряжения;

г) аппаратов управления (например, катушек магнитных пускателей, электромагнитных реле и т.п.) – не более значений, указанных заводами-изготовителями; при отсутствии указаний заводоизготовителей – от -5 до $+10\%$ номинального значения напряжения;

д) цепей напряжением 12 и 42 В – до 10% , считая от выводов низшего напряжения понижающего трансформатора.

Если для питания электроприемников системы автоматизации используется трехфазная сеть, то при распределении однофазной нагрузки между фазами трехфазной сети допустимая несимметрия токов в фазах не должна превышать 10% .

При проектировании АСУ ТП с использованием компьютерной и микропроцессорной техники должны быть предусмотрено резервное питание от второго независимого источника с автоматическим включением резерва. В технически обоснованных случаях наиболее ответственные функциональные узлы должны иметь стабилизированное автономное питание (например, от аккумуляторных батарей) или источники бесперебойного питания (ИБП).

Должна предусматриваться требуемая очередность подачи напряжения и отключения устройств и функциональных узлов АСУ ТП.

10.3. Выбор схемы электропитания, резервирование и автоматическое включение резерва

Выбор схемы электропитания приборов и средств автоматизации определяется главным образом требуемой бесперебойностью электроснабжения, территориальным расположением источников питания и электроприемников, сопротивлением нагрузки, удобством и безопасностью эксплуатации. Оценка и окончательный выбор схемы производится по совокупности всех требований с учетом конкретных условий работы автоматизируемого объекта.

Установленные на щитах и отдельно стоящие электроприемники должны, как правило, получать питание от специальных щитов и сборок питания.

В случае ограниченности числа электроприемников и нецелесообразности специального щита питания аппаратура управления и защиты системы электропитания устанавливается на приборных или релейных щитах. Для электроприводов задвижек (вентилей) и в этом случае необходимо предусматривать отдельные сборки питания.

Электропитание систем автоматизации (рис. 10.1) имеет два основных звена: питающую сеть – от источников до щитов (сборок) питания и распре-

делительную сеть – от щитов (сборок) питания до электроприемников. К распределительной сети относят также цепи всех назначений, связывающие первичные приборы и датчики с вторичными приборами и регулируемыми устройствами.

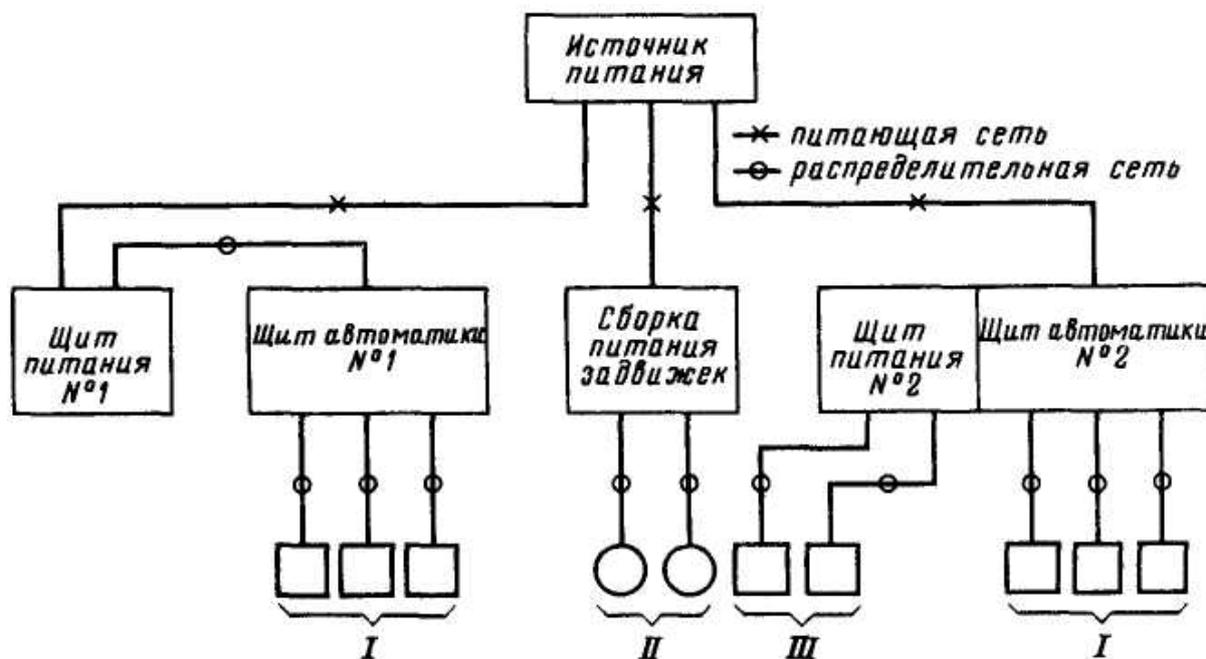


Рис. 10.1. Основные звенья схемы электропитания системы автоматизации:
 I – датчики, первичные приборы и т.п., II – электродвигатели задвижек;
 III – отдельно стоящие приборы

Важное значение имеет правильное определение необходимой степени резервирования электропитания. Надежность (бесперебойность) электропитания электроприемников систем автоматизации должна соответствовать (быть не ниже) надежности электроснабжения автоматизируемого объекта (агрегата, установки, цеха и т.п.) в целом.

Резервирование в системе электропитания должно решаться с учетом наличия резервирования в системе электроснабжения объекта.

В соответствии с требованиями резервирования и взаимным расположением щитов (сборок) питания системы автоматизации и источников питания схема питающей сети может быть следующей конфигурации;

- а) радиальной с одно- или двусторонним питанием (рис. 10.2);
- б) радиально-магистральной (смешанной) (рис. 10.3);
- в) магистральной с одно- или двухсторонним питанием от одного источника или двух независимых (рис. 10.4).

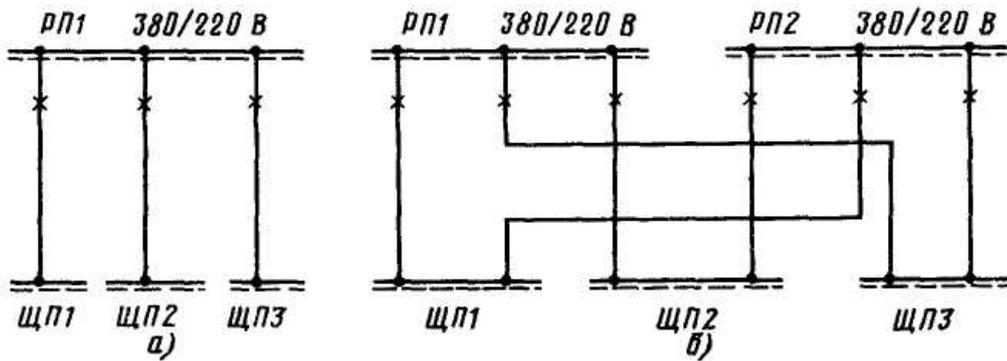


Рис. 10.2. Радиальные схемы питающей сети:
а - с односторонним питанием; *б* - с двусторонним питанием;
 ЩП - щит питания; РП - распределительный пункт

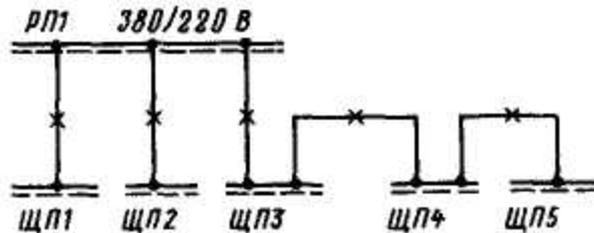


Рис. 10.3. Радиально-магистральная (смешанная) схема питающей сети

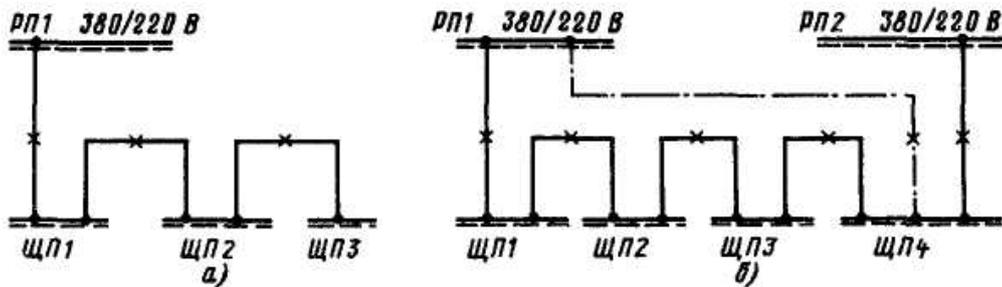


Рис. 10.4. Магистральные схемы питающей сети:
а – с односторонним питанием; *б* – с двусторонним питанием
 от одного источника (линия от РП2 отсутствует) и
 от двух источников (штрихпунктирная линия от РП1 отсутствует)

Радиальные схемы применяются в тех случаях, когда щиты (сборки) питания размещаются в различных направлениях от источника питания и расстояние между щитами больше, чем от источника до щитов. При этом схемы с односторонним питанием должны применяться для щитов (сборок), допускающих питание по одной линии от одного источника, а схемы с двусторонним питанием – при необходимости питания щитов (сборок) от двух независимых источников.

Магистральные схемы применяются для электроснабжения группы щитов (сборок) питания с расстояниями между ними, значительно меньши-

ми, чем до источника питания.

Магистральные схемы с питанием от одного источника применимы только для щитов (сборок), допускающих перерыв в питании.

10.4. Аппаратура управления и защиты схем электропитания

Аппаратура управления и защиты, устанавливаемая в системе электропитания приборов и средств автоматизации, должна обеспечивать: включение и отключение электроприемников и участков сетей в нормальном режиме работы, надежное отсоединение электроприемников и линий для ревизий и ремонтных работ; защиту от всех видов коротких замыканий и от перегрузки в тех случаях, когда она требуется.

Для выполнения указанных требований применяются определенные сочетания аппаратов управления и защиты. Обычно в питающей и распределительных сетях системы электропитания используются:

а) в питающих линиях – автоматический выключатель; выключатель (пакетный выключатель, ключ управления, рубильник, тумблер) – предохранитель;

б) в цепях электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) – автоматический выключатель – магнитный пускатель; выключатель – предохранитель – магнитный пускатель; для защиты этих электродвигателей от перегрузки используются тепловые расцепители или гидравлические замедлители срабатывания, встроенные в автоматические выключатели, либо тепловые элементы магнитных пускателей; при защите автоматическими выключателями тепловые элементы в магнитных пускателях могут не предусматриваться, если расцепители автоматических выключателей достаточно чувствительны к токам перегрузки;

в) в цепях контрольно-измерительных приборов, регулирующих устройств, трансформаторов, выпрямителей и т.д. – выключатель – предохранитель; автоматический выключатель (последний, если он обладает достаточной чувствительностью к токам короткого замыкания и если это оправдано экономически и требованиями удобства эксплуатации);

г) в питающих цепях схем производственной сигнализации – выключатель – предохранитель; автоматический выключатель;

д) в цепях стационарного освещения щитов – выключатель – предохранитель.

Особо важную роль выполняют аппараты защиты, так как бесперебойная работа электрических установок невозможна без защитных устройств, своевременно отключающих поврежденные элементы, быстро реагирующих на нарушения нормальных условий работы электрического оборудования и действующих в определенной, заранее установленной последовательности во времени.

К аварийным или ненормальным режимам работы электроустановок систем автоматизации относятся: многофазные (трех- и двухфазные) и одно-

фазные короткие замыкания на корпус, нулевой провод или на землю в приборах, аппаратах, электроприводах исполнительных механизмов, задвижек и вентилях, проводах, кабелях и т.д.; короткие замыкания между витками обмоток аппаратуры (витковые замыкания); тепловые перегрузки электрооборудования и электропроводок из-за прохождения по ним повышенных токов.

Наиболее опасными аварийными режимами являются короткие замыкания. В большинстве случаев они возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции. Токи короткого замыкания иногда достигают значений, в десятки и сотни раз превосходящих значения токов в нормальном режиме, а их тепловое воздействие и динамические усилия, которым подвергаются токоведущие части, могут привести к повреждению всей электроустановки.

Тепловые перегрузки могут возникать при длительном повышении напряжения сети, обрыве одной из фаз, а в электродвигателях исполнительных механизмов и электроприводов задвижек – при заедании или застопоривании механизма. Тепловые перегрузки вызывают в первую очередь ускоренное старение и разрушение изоляции, что приводит в конечном итоге к коротким замыканиям.

Аппаратура защиты может осуществлять один или несколько видов защиты. Например, некоторые автоматические выключатели обеспечивают защиту только от коротких замыканий, а другие – от коротких замыканий и перегрузки. Кроме того, аппараты защиты могут быть однократного действия, как, например, предохранители, которые требуют замены или перезарядки после каждого срабатывания, или многократного действия, такие как автоматические выключатели. Автоматические выключатели по способу возврата в состояние готовности делятся на аппараты с самовозвратом и с ручным возвратом.

Пакетные выключатели, рубильники, тумблеры служат для включения и отключения отдельных электроприемников и участков сетей в нормальном режиме, а также для отсоединения электроприемников и линий при производстве ремонтных работ.

В схемах электропитания широко используются пакетные выключатели и переключатели типов ПВ и ПП, предназначенные для коммутации электрических цепей напряжением до 400 В переменного тока, частотой 50, 60, 400 Гц и до 240 В постоянного тока. Они имеют исполнения, различающиеся: степенью защиты – *IP00*, *IP30*, *IP56*, *IP67*; способом присоединения проводников – с передним и задним присоединением; способом установки и крепления – I, II, III, IV (крепление передней скобой с установкой за панелью толщиной 4 или 25 мм, крепление задней скобой с установкой внутри шкафа, крепление за корпус с установкой на стенах и конструкциях); числом положений рукоятки – от 2 до 4. числом независимых коммутируемых цепей - от 1 до 4; способом фиксации коммутационных положений – через 90 и 120°. В зависимости от номинальных токов и напряжений выключатели и переключатели подразделяются на несколько модификаций, обозначаемых в шифрах их типов цифрами 1, 3, 5, 6, 8 и 9.

Технические характеристики некоторых наиболее употребительных пакетных выключателей приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Технические характеристики пакетных выключателей и переключателей

Наименование	Тип	Номинальный ток контактов при напряжении 220 В переменного и постоянного тока, А	Исполнение по способу установки и крепления
Выключатели одно-, двух-, трех- и четырех-полюсные	ПВ1-10	6	I, II, III
	ПВ2-10, ПВ3-10, ПВ4-10	10	
Переключатели двух- и трехполюсные на два и три направления	ПП2-10/Н2, ПП2-10/Н3, ПП3-10/Н2, ПП3-10/Н3	10	I, II, III

Рубильники Р-16 на напряжение 220 и 380 В и номинальный ток 16 А поставляются в одно- и многополюсном исполнениях. Степень защиты IP00. Коммутационная способность рубильников Р-16 при напряжении 220 В переменного тока – 5 А ($\cos \varphi = 0,3 \div 0,4$), 10 А ($\cos \varphi = 0,6 \div 0,7$); при напряжении 220 В постоянного тока – 2,5 А (при индуктивной нагрузке), 5 А (при активной нагрузке).

Тумблеры-переключатели типов ТВ1, ТВ2, ТП1, применяющиеся в схемах электропитания, имеют характеристики, приведенные в табл. 10.2.

Предохранители предназначены для защиты сетей и отдельных электроприемников от коротких замыканий и перегрузки. Работа плавких предохранителей основана на тепловом действии электрического тока. Когда ток в защищаемой цепи превысит определенное значение, плавкая вставка расплавляется (перегорает), создавая разрыв цепи.

Предохранители характеризуются номинальным напряжением, номинальным током и предельным отключаемым током.

Номинальное напряжение предохранителя $U_{\text{ном.пр.}}$ соответствует наибольшему номинальному напряжению цепей, в которых разрешается установка данного предохранителя.

Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{ном.вст}}$ – это наибольший ток, который вставка выдерживает неограниченно долгое время.

Номинальный ток предохранителя (патрона) $I_{\text{ном.пр.}}$ – это длительный ток, на который рассчитан предохранитель.

Предельно отключаемый ток предохранителя $I_{\text{ном.откл.}}$ – это наиболь-

ший расплавляющий ток, при котором еще обеспечивается гашение дуги без каких-либо повреждений патрона предохранителя.

Таблица 10.2

Технические характеристики тумблеров

Наименование	Тип	Допустимая нагрузка на контактную пару, Вт	Допустимое напряжение, В	Допустимый ток, А
Тумблер-выключатель одно-, двух- и четырехполюсный	ТВ1-1, ТВ1-2, ТВ1-4	250	220 50	1,1 5
Тумблер-выключатель однополюсный	ТВ2-1	60	220 120	0,25 0,5
		120	220 120	0,5 1
Тумблер-переключатель двухполюсный	ТП1-2	220	220	1
			110	2

Плавкая вставка перегорает тем быстрее, чем больший ток проходит через нее. Зависимость времени плавления вставки от тока, протекающего через вставку, называется защитной характеристикой плавкой вставки.

Плавкие предохранители имеют разброс в срабатывании. При одном и том же расплавляющем токе время плавления вставки зависит от многих причин: материала, сечения и длины вставки, состояния поверхности вставки и условий ее охлаждения, температуры окружающего воздуха и т.п. Кроме того, с течением времени защитные свойства плавкой вставки ухудшаются из-за ее старения.

Обычно вставки калибруются так, что при токах $I_{\text{вст}} \leq 1,3 \cdot I_{\text{ном.вст}}$ они не перегорают в течение 1–2 ч. При токах $I_{\text{вст}} = (5 \div 7) \cdot I_{\text{ном.вст}}$ вставки расплавляются за 1–4 с, при $I_{\text{вст}} = (4 \div 5) \cdot I_{\text{ном.вст}}$ за 2–8 с, при $I_{\text{вст}} = (3 \div 4) \cdot I_{\text{ном.вст}}$ за 5–20 с.

В системах электропитания применяются предохранители типов ППТ, ПТ (220 В, 10 А), ПК-30 (250 В, 2 А) и др.

Автоматические выключатели используются в качестве защитных аппаратов от коротких замыканий и перегрузок, а также для нечастых оперативных отключений электрических цепей и отдельных электроприемников при нормальных режимах работы. Таким образом, автоматы выполняют функции рубильников, предохранителей и магнитных пускателей (последнее

при работе привода с редкими включениями). Автоматические выключатели удобнее в эксплуатации, чем рубильник с предохранителями. Кроме того, они более точны, надежны и безопасны в работе и обладают многократностью действия. Возможность неполнофазных отключений при защите автоматическим выключателем отсутствует – автоматический выключатель отключает все фазы защищаемой цепи.

Автоматические выключатели по видам защиты различают: с электромагнитным расцепителем (для защиты от коротких замыканий), с тепловым расцепителем или с электромагнитным расцепителем с гидравлическим замедлением срабатывания (для защиты от перегрузки); с комбинированным расцепителем – электромагнитным и тепловым или электромагнитным с гидравлическим замедлением срабатывания (для защиты от коротких замыканий и перегрузок). Включаются автоматические выключатели кнопкой или рукояткой, предусматривается также возможность ручной отключения. В тепловой расцепитель входит биметаллическая пластина. При перегрузке защищаемой цепи один из концов биметаллической пластины изгибается и через механизм расцепления производится отключение автоматического выключателя.

Механизмы отключения автоматических выключателей построены на принципе свободного расцепления и обеспечивают моментное замыкание/размыкание контактов, не зависящее от скорости движения ручки (кнопки) управления, а также автоматическое отключение автоматического выключателя под действием расцепителей (независимо от положения в данный момент ручных органов управления).

Автоматические выключатели характеризуются номинальными напряжением и током, а их токовые расцепители – номинальным током и током уставки. Кроме того, автоматические выключатели характеризуются допустимым значением тока короткого замыкания, который они могут отключить без повреждения.

Номинальное напряжение автоматического выключателя $U_{\text{ном.а}}$ соответствует наибольшему номинальному напряжению сети, в которой разрешается применять данный автоматический выключатель.

Номинальный ток автоматического выключателя $I_{\text{ном.а}}$ – это наибольший ток, протекание которого через автоматический выключатель допустимо в течение неограниченно длительного времени.

Номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном.расц}}$ – это наибольший ток, протекание которого допустимо в течение неограниченного времени и который не вызывает срабатывания расцепителя.

Ток уставки электромагнитного расцепителя $I_{\text{ном.эл.расц}}$ – это наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель.

Номинальный ток уставки теплового расцепителя или теплового элемента комбинированного расцепителя $I_{\text{ном.уст.расц}}$ – это наибольший ток рас-

цепителя, при котором расцепитель не срабатывает.

Каждый автоматический выключатель имеет определенного вида защитную характеристику – зависимость времени срабатывания от тока, проходящего через расцепитель.

Автоматические выключатели АП50 предназначены для применения в цепях переменного тока частотой 50 или 60 Гц, напряжением до 500 В и постоянного тока напряжением до 220 В, выполняются в пластмассовом корпусе со степенью защиты IP20 и в дополнительном металлическом корпусе со степенью защиты IP54, имеют двух- и трехполюсное исполнение, выпускаются с электромагнитными (М), тепловыми (Т) и комбинированными (МТ) расцепителями на токи от 1,6 до 50 А, изготавливаются также и с другими расцепителями (минимального напряжения – Н, с расцепителем в- нулевом проводе – 0) и без расцепителей.

В табл. 10.3 приведены основные технические характеристики автоматических выключателей АП50, находящихся применение в системах электропитания.

Таблица 10.3

Технические характеристики автоматических выключателей АП50

Тип	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность тока уставки электромагнитного расцепителя (тока отсечки) номинальному току расцепителя, А	Число блокировочных контактов
АП50-2МТ, АП50-2М	1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40; 50	3,5; 11	Один переключающий (1П)
АП50-2Т, АП50-3МТ			Два переключающих (2П)
АП50-3М, АП50-3Т			Без блокировочных контактов

Времятоковая характеристика наиболее широко применяемых в схемах автоматизации автоматических выключателей АП50 приведена на рис. 10.5.

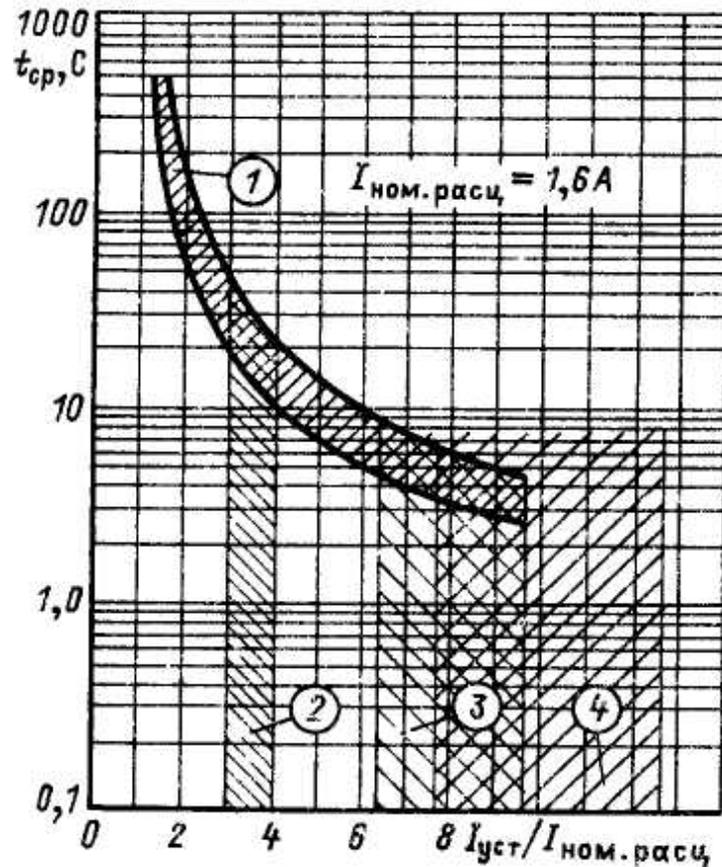


Рис. 10.5. Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-3МТ на номинальный ток 1,6 А

Характеристики автоматических выключателей получены при срабатывании из холодного состояния при температуре наружного воздуха $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ на переменном токе 50 Гц.

Времятоковые характеристики и токи срабатывания расцепителей имеют существенные зоны разброса значений времени и токов срабатывания, что связано с нестабильностью срабатывания тепловых и электромагнитных расцепителей автоматических выключателей. На рис. 10.5 цифры означают: 1 – зона срабатывания электромагнитных расцепителей; 2 – зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при $I_{уст}/I_{ном.расц} = 3,5$, где $I_{уст}$ – ток уставки, 3 – зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при $I_{уст}/I_{ном.расц} = 8$; 4 – зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при $I_{уст}/I_{ном.расц} = 11$.

Пример 10.1. Автоматический выключатель типа АП50 имеет кратность тока уставки расцепителей $I_{уст}/I_{ном.расц} = 8$, номинальный ток расцепителей $I_{ном.расц} = 1,6\text{ А}$. Требуется определить возможные действительные токи отключения автомата при срабатывании электромагнитных расцепителей.

Из рис. 10.5 находим, что электромагнитные расцепители безусловно мгновенно срабатывают при токах $I > 9,6 I_{ном.расц} = 9,6 \cdot 1,6 = 15,3\text{ А}$. При то-

ках $I < 6,4$ $I_{\text{ном.расц}} = 6,4 \cdot 1,6 = 10,2$ А автоматический выключатель не отключается (зона 3 на рис. 10.5).

Пример 10.2. Ток нагрузки цепи, защищаемой автоматическим выключателем АП50 с тепловыми расцепителями на ток $I_{\text{ном.расц}} = 1,6$ А, возрос с номинального значения до $I = 5I_{\text{ном.расц}}$. Определить время отключения цепи автоматом с момента возрастания нагрузки.

Из рис. 10.5 находим, что автомат отключается вследствие срабатывания тепловых расцепителей спустя $7,5 < t_{\text{ср}} < 15$ с, т.е. автоматический выключатель обязательно должен отключиться через 15 с.

Возможно, автоматический выключатель будет отключен и раньше, но не быстрее чем через 7,5 с.

Пример 10.3. Автоматический выключатель АП50 имеет тепловые и электромагнитные расцепители. Номинальный ток электромагнитных расцепителей $I_{\text{ном.расц}} = 1,6$ А. Ток уставки $I_{\text{уст}} = 3,5I_{\text{ном.расц}}$. Определить время отключения автоматического выключателя при возрастании тока нагрузки до $I = 3,2$ А.

Определяем кратность тока нагрузки номинальному току расцепителя $I/I_{\text{ном.расц}} = 3,2/1,6 = 2$. Из рис. 10.5 находим, что при $I = 3,2$ А автоматический выключатель отключится от тепловых расцепителей спустя $60 < t_{\text{ср}} < 160$ с.

Пример 10.4. Ток нагрузки автоматического выключателя в примере 6.3 возрос от номинального значения до $I = 5$ А. Определить, через какое время автоматический выключатель отключится.

Определяем кратность тока нагрузки $I/I_{\text{ном.расц}} = 5/1,6 = 3,12$.

Из рис. 10.5 находим: автоматический выключатель обязательно будет отключен тепловым расцепителем через 30 с с момента возрастания тока нагрузки; в любое неопределенное время (от 0 до 30 с) автоматический выключатель может быть отключен электромагнитным расцепителем; в любое неопределенное время (от 20 до 30 с) автоматический выключатель может быть отключен тепловым расцепителем.

Магнитные пускатели выполняют функции аппаратов дистанционного включения и отключения электроприемников и, в частности, в системах электропитания приборов и средств автоматизации используются для управления электродвигателями исполнительных механизмов и электроприводами задвижек. Кроме того, магнитные пускатели могут выполнять функции защиты от перегрузки и понижения напряжения (а, как следствие, от самозапуска), блокировку с другими аппаратами и электрическое реверсирование.

Основной частью магнитного пускателя является контактор. Его катушка обеспечивает защиту от понижения напряжения. Защиту от перегрузки осуществляют тепловые реле, которые могут встраиваться в магнитный пускатель. Блокировка с другими аппаратами осуществляется с помощью блокировочных контактов пускателя, а реверсирование – с помощью реверсивных

пускателей (последние состоят из двух нормальных пускателей, электрически и механически заблокированных между собой).

Для электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек в основном используются магнитные пускатели серии ПМЕ и др.

Пускатели ПМЕ выпускаются в исполнениях со степенями защиты *IP00*, *IP30*, *IP54*, нереверсивными и реверсивными, со встроенными тепловыми реле и без тепловых реле, со встроенными кнопками и без них.

Пускатели этой серии в зависимости от номинального тока главных контактов разделяются на три типа: ПМЕ-000, ПМЕ-100, ПМЕ-200.

Основные технические характеристики некоторых типов магнитных пускателей серии ПМЕ, применяемых в цепях электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек, даны в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Технические характеристики магнитных пускателей серии ПМЕ

Тип пускателя	Номинальный ток главной цепи пускателя, А	Номинальный ток блокировочных контактов, А	Тип теплового реле	Наибольшая мощность, кВт, управляемого электродвигателя при напряжении, В			Мощность, потребляемая катушками, В·А (Вт)	
				127	220	380	длительная	при включении
ПМЕ-000	4	4	ТРН-10А	0,27	0,6	1,1	12(3)	60
ПМЕ-100	10	6	ТРН-10	1,1	2,2	4	(6)	(60)
ПМЕ-200	25 (23 – для пускателей со степенями защиты <i>IP30</i> и <i>IP54</i>)	6	ТРН-25	3,3	5,5	10	30(8)	200

Пускатели серии ПМЕ надежно работают при колебаниях напряжения сети в пределах от 0,85 до 1,05 номинального напряжения катушки. Пускатели с тепловой защитой имеют тепловые элементы (тепловые двухполюсные реле) типа ТРН. Основные характеристики тепловых реле ТРН приведены в табл. 10.5.

Технические характеристики тепловых реле ТРН пускателей серии ПМЕ

Тип пускателя	Тип теплового реле	Номинальный ток реле, А	Номинальный ток теплового элемента, А	Предел регулировки номинального тока теплового элемента реле, А
ПМЕ-000	ТРН-10А	3,2	0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2	0,8 – 1,25
ПМЕ-100	ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10	0,75 – 1,3
ПМЕ-200	ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	

Реле ТРН не срабатывает при номинальном токе уставки теплового элемента (в установившемся тепловом состоянии при температуре окружающей среды + 20 °С) и срабатывает в течение 20 мин при токе, равном 1,2 номинального тока уставки.

Реле допускает регулировку тока уставки в пределах + 25 %. Регулировку производят с помощью механизма уставки, на шкале которого нанесено по пять делений в обе стороны от нуля.

Тепловые реле типа ТРН имеют температурную компенсацию.

Реле тока и реле напряжения. Для контроля соответственно значений токов и напряжений в цепях переменного тока наиболее часто применяются реле тока типа РТ-40 и напряжения типа РН-50.

Технические характеристики реле тока типа РТ-40 приведены в табл. 10.6. Погрешность срабатывания составляет $\pm 5\%$ при температуре + 20 °С.

Таблица 10.6

Технические характеристики реле тока типа РТ-40

Модификация	Соединение катушек						
	последовательное			параллельное			Потребляемая мощность при токе срабатывания на номинальной уставке, В·А
	Предел уставки $I_{уст}, А$	Номинальный ток $I_{ном}, А$	Термическая стойкость в течение 1 с, А	Предел уставки $I_{уст}, А$	Номинальный ток $I_{ном}, А$	Термическая стойкость в течение 1 с, А	
РТ40/0.2	0,05-0,10	0,4	90	0,1-0,2	1	90	0,2
РТ40/0,6	0,15-0,30	1,6		0,3-0,6	2,5		
РТ40/2	0,5-1,0	2,5		1-2	6,3	150	
РТ40/6	1,5-3,0	10	3-6	16	0,5		
РТ40/10	2,5-5,0	16	5-10			150	
РТ40/20	5-10		10-20				
РТ40/50	12,5-25,0		25-50		220	0,8	
РТ40/100	25-50		50-100			1,8	
РТ40/200	50-100		220	100-200	220	8,0	

Технические характеристики реле напряжения типа РН-50 приведены в табл. 10.7. Отклонение напряжения срабатывания от значений, обозначенных на шкале, не более + 8 % при температуре окружающей среды + 20 °С.

Таблица 10.7

Технические характеристики реле напряжения типа РН-50

Модификация	Номинальное напряжение диапазона, В		Напряжение срабатывания и допустимое для диапазона уставки			
	первого	второго	первого		второго	
			Напряжение срабатывания, В	Длительно допустимое напряжение, В	Напряжение срабатывания, В	Длительно допустимое напряжение, В
Реле максимального напряжения						
РН-53/60	30	60	15-30	33	30-60	66
РН-53/200	100	200	50-100	110	100-200	220
РН-53/400	200	400	100-200	220	220-400	440
РН-53/60Д	100	200	15-30	110	30-60	220
Реле минимального напряжения						
РН-54/48	30	60	12-24	33	24-48	66
РН-54/160	100	200	40-80	по	80-160	220
РН-54/320	200	400	80-160	220	160-320	440

Выбор аппаратов управления и защиты в системах электропитания приборов и средств автоматизации производится с учетом следующих основных требований:

а) напряжение и номинальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи. Номинальные токи аппаратов защиты следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам отдельных электроприемников, при этом аппараты защиты не должны отключать цепь при кратковременных перегрузках (например, при пусках электродвигателей);

б) аппараты управления должны без повреждений включать пусковой ток электроприемника и отключать полный рабочий ток, а также без разрушения допускать отключение пускового тока;

в) аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать токам короткого замыкания в начале защищаемого участка; отключение защищаемой линии или электроприемника должно производиться с наименьшим временем;

г) при коротких замыканиях по возможности должна быть обеспечена селективность работы защитных аппаратов с ниже- и вышестоящими защит-

ными и коммутационными аппаратами; рекомендуется номинальные токи каждого последующего по направлению тока аппарата защиты (предохранителей и тепловых расцепителей) принимать на две ступени ниже, чем предыдущего, если это не приводит к завышению сечений проводов;

д) аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение одно- и многофазных коротких замыканий в сетях с глухо-заземленной нейтралью и двух- и трехфазных коротких замыканий в сетях с изолированной нейтралью в наиболее удаленной точке защищаемой цепи. Для этого кратности токов однофазных коротких замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью должны превышать не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя данной цепи;
 - в 3 раза номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратозависимую от тока характеристику;
 - в 1,4 раза ток уставки мгновенного срабатывания автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель (отсечку) с номинальным током до 100 А (отметим, что во взрывоопасных установках указанные кратности токов имеют другие значения, приведенные в разд. 15);
- е) в сетях с изолированной нейтралью, защищенных только от коротких замыканий, в которых сечения проводников выбраны с учетом требований, допускается указанную выше расчетную проверку кратности тока короткого замыкания не выполнять; в сетях с глухозаземленной нейтралью эта проверка является обязательной.

10.5. Места установки аппаратов управления и защиты

Аппараты управления и защиты, как правило, устанавливаются во всех линиях и присоединениях питающей и распределительной сетей.

При этом нужно руководствоваться следующими основными требованиями.

В питающей сети аппараты управления и защиты должны устанавливаться в местах присоединения к источнику питания, а также на вводах в щиты и сборки питания приборов и средств автоматизации. Защитные аппараты на вводах в щиты и сборки питания могут не предусматриваться, если аппараты защиты головного участка питающей линии обеспечивают надежную защиту всей линии и все присоединения распределительной сети, питающейся от указанных щитов и сборок, имеют индивидуальную защиту. Указанные требования проиллюстрированы рис. 10.6.

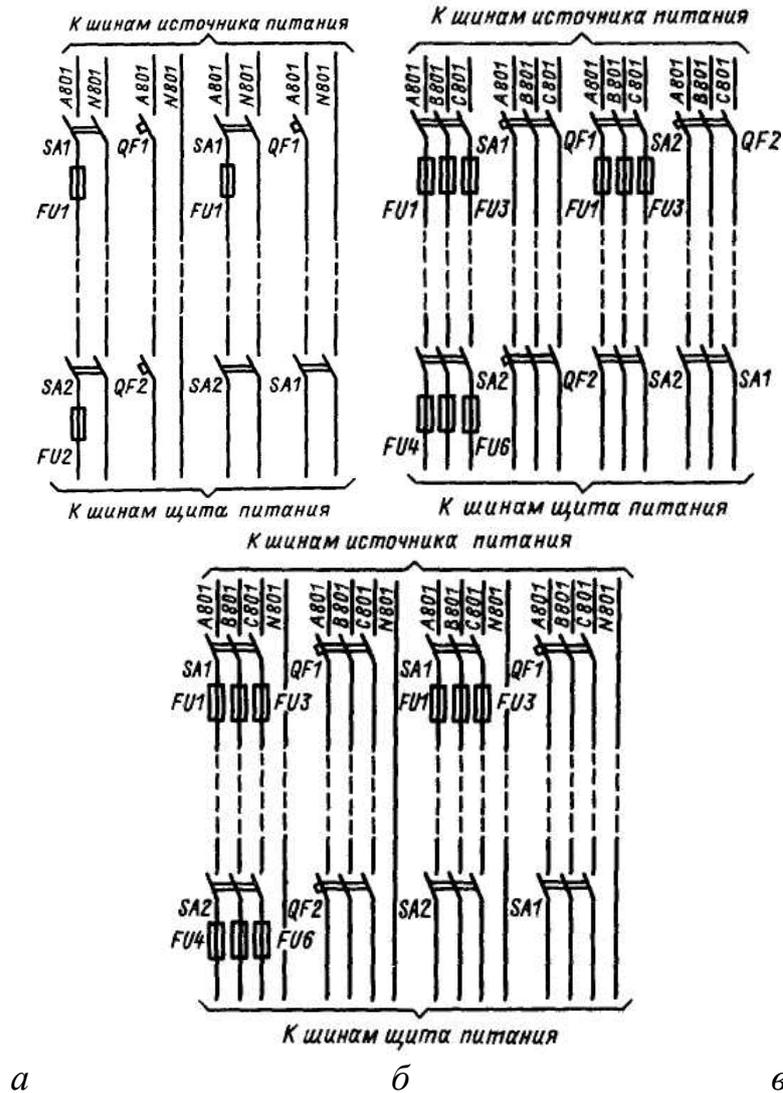


Рис. 10.6. Установка аппаратов управления и защиты в питающей:
а - однофазной двухпроводной сети;
б - трехфазной трехпроводной сети;
в - трехфазной четырехпроводной сети

При магистральной схеме исполнения питающей сети аппараты управления и защиты устанавливаются по мере уменьшения сечений линий на вводе каждого щита и сборки питания. Если вся магистраль выполняется проводами одного сечения, то необходимость установки аппаратов управления и защиты на вводах щитов и сборок питания определяется, помимо требований удобства эксплуатации, требованиями селективности (для аппаратов защиты).

В распределительной сети аппараты управления и защиты устанавливаются непосредственно в местах присоединений отдельных цепей на щитах и сборках питания. В распределительной сети могут предусматриваться общие аппараты управления и защиты для группы электроприемников, если эти электроприемники связаны одним технологическим процессом, не требуют индивидуальной защиты и применение групповых аппаратов не создает неудобств в эксплуатации.

В цепях электроприемников, имеющих встроенные выключатели и предохранители, аппараты управления и защиты могут не предусматриваться, если щит питания совмещен со щитом, где установлен данный электроприемник, при отдельно стоящем щите питания (на расстоянии более 6 м), когда провода, питающие электроприемник, выходят за пределы щита, в начале ответвления должны устанавливаться аппараты управления и защиты. В цепях электроприемников, имеющих только встроенный предохранитель, аппарат управления должен предусматриваться независимо от места установки щита питания.

В питающей и распределительной сетях (двухпроводных одно- и двухфазных, трехфазных трех- и четырехпроводных систем с изолированной и глухозаземленной нейтралью, в двухпроводных сетях постоянного тока) аппараты управления и защиты должны устанавливаться в нормально не зануленных (заземленных) фазных проводах или полюсах.

При питании от системы с глухо-заземленной нейтралью допускается в двухпроводных цепях вторичного напряжения понижающих трансформаторов, вторичных цепях выпрямителей, предусматриваемых в системах электропитания, ограничиваться установкой аппаратов защиты только в одном проводе.

Не допускается установка аппаратов управления и защиты только в зануляющих (заземляющих) проводниках всех видов.

В цепях питания регуляторов и приборов, состоящих из нескольких взаимосвязанных элементов, не работающих независимо друг от друга (например, отдельные блоки регуляторов или датчики и вторичные приборы), устанавливаются общие аппараты управления и защиты. На ответвлениях к отдельным элементам регуляторов, которые могут при необходимости отключаться (например, регулирующий прибор при дистанционном управлении), должны дополнительно устанавливаться индивидуальные выключатели (рис. 10.7).

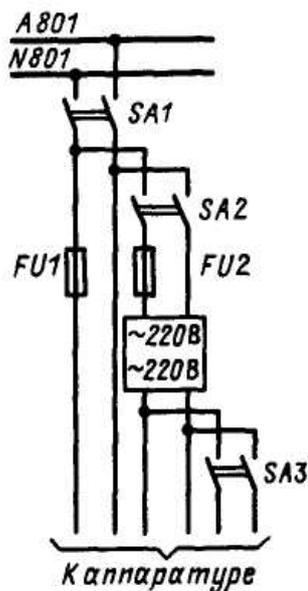


Рис. 10.7. Схема питания электроприемников системы регулирования температуры

В цепях питания стационарно установленного освещения шкафных щитов и местного стационарного освещения шкафных и панельных щитов должны предусматриваться выключатель и предохранитель в фазном проводе.

10.6. Выбор сечений проводов и жил кабелей сети системы электропитания

Сечения проводов питающей и распределительной сетей системы электропитания приборов и средств автоматизации выбираются по условиям нагрева электрическим током и механической прочности с последующей проверкой в необходимых случаях по потере напряжения.

Правила устройства электроустановок различают электрические сети, в которых требуется только защита от коротких замыканий, и сети, которые должны быть защищены не только от коротких замыканий, но и от перегрузки.

Питающая и распределительная сети системы электропитания относятся, как правило, к сетям, не требующим защиты от перегрузки, и защищаются только от коротких замыканий.

Отдельные электроприемники, такие как электродвигатели исполнительных механизмов и электроприводов задвижек, которые по характеру своей работы могут подвергаться технологическим перегрузкам, рекомендуется защищать от коротких замыканий и перегрузки, если это не противоречит другим требованиям, например обязательности действия исполнительного механизма или задвижки даже ценой их выхода из строя.

Сечение проводов и кабелей в соответствии с условием нагрева элек-

трическим током определяется по таблицам допустимых длительных токовых нагрузок на провода и кабели с учетом условий их прокладки.

В табл. 10.8 – 10.12 приведены длительно допустимые токи нагрузок некоторых наиболее употребительных в системах автоматизации проводов и кабелей.

Расчетный ток, по которому производится выбор сечения проводов, должен приниматься как большее значение тока, определяемое двумя условиями: нагревом проводников длительным током и соответствием выбранному аппарату защиты, т.е. допустимым отношением (кратностью) номинального тока или тока срабатывания защитного аппарата к длительно допустимому току проводов и кабелей.

Таблица 10.8

Провода и шнуры с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией,
с медными жилами

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А					
	проводов, проложенных					
	проводов, проложен- ных от- крыто	двух одножиль- ных	трех одножиль- ных	четырёх одножиль- ных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,76	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3,0	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70

Таблица 10.9

Провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией,
с алюминиевыми жилами

Сечение то- копровода- щей жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А					
	проводов, проло- женных открыто	проводов, проложенных в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одножиль- ных	четырёх одножиль- ных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
2,0	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55

Таблица 10.10

Провода с медными жилами, с резиновой изоляцией, в металлических
защитных оболочках и кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией,
в свинцовой, поливинилхлоридной, наиритовой или резиновой оболочке,
бронированные и небронированные

Сечение то- копровода- щей жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А, проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		при прокладке			
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115

Таблица 10.11

Кабели с алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированные и небронированные

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А, кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		при прокладке			
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90

Таблица 10.12

Провода с алюмомедными жилами

Номинальное сечение провода, мм ²	Допустимая токовая нагрузка, А			
	проводов, проложенных открыто	проводов, проложенных в одной трубе		
		двух	трех	четырёх
1,5	22,3	18,7	16,4	14,1
2,5	29,6	24,9	23,7	23,7
4,0	39,6	34,8	34,8	28,8
6,0	51,1	46,1	41,1	38,6
10,0	68,7	57,6	54,3	45,4

Для линий, защищаемых только от короткого замыкания, допустимая кратность номинального тока или тока срабатывания защитного аппарата к длительно допустимому току проводов и кабелей должна быть не более:

- 300% номинального тока плавких вставок предохранителей;
- 450% тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- 100% номинального тока разделителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- 125% тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой; при наличии на автоматическом выключателе отсечки ее кратность срабатывания не ограничи-

вается.

Для практических расчетов условие нагревания проводов длительным расчетным током имеет вид

$$I_{\text{длит.доп}} \geq I_{\text{расч}}, \quad (10.1)$$

а условие соответствия выбранному аппарату защиты

$$I_{\text{длит.доп}} \geq K_3 I_3, \quad (10.2)$$

где $I_{\text{длит.доп}}$ – допустимый длительный ток для провода или кабеля при нормальных условиях прокладки, определяемый по таблицам допустимых токовых нагрузок на провода и кабели (см. табл. 10.8–10.12); $I_{\text{расч}}$ – длительный расчетный ток линии; I_3 – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата; K_3 – кратность допустимого длительного тока для провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата.

Значения коэффициентов K_3 в зависимости от характера сети, типа изоляции проводов и кабелей и условий их прокладки приведены в табл. 10.13.

Минимальные кратности допустимых токов нагрузок на провода и кабели по отношению к номинальным токам или токам срабатывания защитных аппаратов

Ток защитного аппарата	Кратность допустимых длительных токов		
	в сетях, для которых защита от перегрузки обязательна (ПУЭ, п. 3.1.11)		в сетях, защищаемых только от коротких замыканий (ПУЭ, п. 3.1.9)
	проводников с резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		
	во взрыво- и пожароопасных зонах, жилых, торговых помещениях и т.п.	В невзрыво- и непожароопасных помещениях промышленных предприятий	
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	0,33
Ток срабатывания (уставки) автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель (максимальный мгновенно действующий расцепитель)	1,25	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя (теплового или комбинированного) автоматического выключателя с нерегулируемой обратнoзависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания (трогания) расцепителя автоматического выключателя без отсечки с регулируемой обратнoзависимой от тока характеристикой	1,0	1,0	0,66

При условиях прокладки, отличных от указанных в табл. 10.8 – 10.12, в знаменатели правых частей выражений (10.1) и (10.2) вводится $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей. Например, при прокладке на лотках пучков полностью нагруженных по току проводов

или отдельных кабелей необходимо допустимые токовые нагрузки на них принимать в соответствии с табл. 10.8 – 10.12 как для проводов и кабелей, проложенных открыто (на воздухе), с введением следующих поправочных коэффициентов: 1,00 – при числе пучков проводов или кабелей до 6; 0,7 – при 12 – 15 и 0,6 – при числе пучков проводов и кабелей 21 и более.

Сечение проводов и кабелей для ответвления к электродвигателям исполнительных механизмов и электроприводов задвижек во всех случаях выбирается в соответствии с выражением (10.1), в котором длительный расчетный ток линии равен номинальному току двигателя. Выбранное сечение провода или кабеля ответвления к электродвигателю должно быть проверено по (10.2).

При проверке проводов и кабелей на допустимые потери напряжения необходимо убедиться в том, что отклонение напряжения на зажимах электроприемников не превышает допустимых значений. Отметим, что в большинстве случаев сечения проводов системы электропитания, выбранные по условию нагрева электрическим током (когда длина сети сравнительно невелика и проводка выполнена кабелями или проводами в защитных трубах), удовлетворяют и требованию допустимой потери напряжения. Но может также оказаться, что при длинных малонагруженных линиях решающим условием при выборе сечений проводов будет допустимое значение потери напряжения. Потерей напряжения на каком-либо участке сети называется разность напряжений в начале и конце данного участка.

Зная напряжения питающей сборки (источника питания), к которой присоединена система электропитания, и допустимое отклонение напряжения на зажимах электроприемников, легко определить допустимые потери напряжения в линии, питающей эти электроприемники. Например, если в нормальном режиме работы напряжение питающей сборки равно номинальному напряжению сети $U_{ном}$, а допустимое отклонение напряжения на зажимах электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек, питающихся от этой сборки, лежит в пределах от – 5 до + 10% номинального, то допустимые потери напряжения в линии составляют 5% номинального (при напряжении питания электродвигателей 380 В в линии может быть потеряно в данном случае не более 19 В).

Однако надо также учитывать, что питающая сборка (источник питания) системы электропитания сама входит в схему электроснабжения автоматизируемого объекта и в зависимости от режимов работы сети электроснабжения напряжение не остается постоянным. В режимах максимальных нагрузок, когда работают все потребители электроэнергии данного объекта, напряжение питающей сборки может быть меньше номинального, а в режиме минимальных нагрузок, когда часть потребителей отключена, ее напряжение может оказаться выше номинального. Эти возможные колебания напряжения питающих сборок в отдельных случаях приходится учитывать (например, когда от этих сборок питаются и силовые потребители), так как определение допустимых потерь напряжения на каком-либо участке сети только по номи-

нальным данным без учета нагрузочных режимов сети электроснабжения автоматизируемого объекта может привести к ненормальной работе электроприемников системы электропитания, поскольку отклонения напряжений на их зажимах окажутся в недопустимых пределах.

Сечения проводов должны проверяться по потерям напряжения в наилучшем режиме работы сети, когда напряжение питающей сборки может быть весьма заниженным или превышающим номинальное.

Сечения нулевых проводов в питающей и распределительной сетях системы электропитания выбираются следующим образом :

- а) в однофазных двухпроводных сетях – равными фазному;
- б) в трехфазных четырехпроводных сетях, питающих смешанную нагрузку (однофазные и трехфазные электроприемники), – не менее 50% сечения фазных проводов (при медных или алюминиевых проводах); однофазная нагрузка при этом должна быть равномерно распределена между фазами;
- в) в трехфазных четырехпроводных сетях, питающих трехфазную нагрузку, – не менее 50 % сечения фазных проводов (при медных и алюминиевых проводах).

Таким образом, общий порядок выбора аппаратов защиты и сечений проводов и кабелей следующий:

- 1) определяются расчетные токи линий – длительные и кратковременные (например, при пуске двигателей);
- 2) по значениям расчетных токов линий проводится выбор защитных аппаратов;
- 3) по значениям расчетных токов линий и по условию их соответствия выбранным аппаратам защиты производится выбор сечений проводов;
- 4) проверяется надежность действия защитных аппаратов при коротком замыкании в наиболее удаленной точке сети;
- 5) проверяется соответствие сечений выбранных проводов и кабелей максимально допустимым сечениям проводов по механической прочности, а в необходимых случаях (например, при длинных линиях) производится проверка сечений проводов по потере напряжения

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте общие требования к системам электропитания средств измерения и автоматизации.
2. Поясните выбор напряжения и требования к источникам питания.
3. Как осуществляется выбор схемы электропитания, резервирование и автоматическое включение резерва?
4. Дайте подробное пояснение аппаратуры управления и защиты схем электропитания.
5. Места установки аппаратов управления и защиты.
6. Выбор сечений проводов и жил кабелей сети системы электропитания.

11. СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

11.1. Общие понятия

Традиционные централизованные системы автоматизации технологических процессов строились по схеме, в которой имелось одно мощное вычислительное устройство и огромное количество кабелей, посредством которых осуществлялось подключение «полевых» устройств (датчиков и исполнительных механизмов). Такая структура диктовалась дороговизной электронно-вычислительной техники и невысоким интеллектом техники нижних уровней автоматизации производства. Большие затраты на кабельную сеть и вспомогательное оборудование, сложный монтаж, низкая надежность и сложная реконфигурация прежних централизованных систем сделали их во многих случаях неприемлемыми.

Благодаря революционному развитию микропроцессорных устройств альтернативным решением стали цифровые промышленные сети, позволяющие создавать распределенные АСУТП (*DCS - distributed control system* - распределенные системы управления), состоящие из многих узлов, обмен между которыми производится цифровым способом. На рынке представлены сотни различных типов цифровых промышленных сетей, применяемых в системах автоматизации. Технические и стоимостные различия этих систем настолько велики, что выбор решения, оптимально подходящего для нужд конкретного производства, является непростой задачей. Пользователям и проектировщикам распределенных АСУТП важно принять мотивированное решение, способное повысить эффективность производства и обеспечить надежную работу технологического оборудования [3-5].

11.2. Основные характеристики цифровых промышленных сетей

Следует подчеркнуть две особенности современных цифровых промышленных сетей – распределенный характер «интеллекта» и цифровой способ обмена данными между узлами сети. Узлы цифровых промышленных сетей располагаются максимально приближенно к оконечным устройствам, благодаря чему длина аналоговых линий сокращается до минимума. Каждый узел цифровых промышленных сетей является «интеллектуальным» устройством и выполняет несколько функций:

- приём команд и данных от других узлов цифровых промышленных сетей,
- съём данных с подключённых датчиков,
- оцифровка полученных данных,
- отработка технологического алгоритма,
- выдача управляющих воздействий на подключенные исполнитель-

ные механизмы по команде другого узла или согласно технологическому алгоритму,

- передача накопленной информации на другие узлы цифровых промышленных сетей.

Преимущества цифровых промышленных сетей по сравнению с централизованными системами:

- получение экономической выгоды за счет замены дорогих кабелей дешевой витой парой, снижения в несколько раз их общей длины и сокращения расходов на вспомогательное оборудование (кабельные каналы, клеммы, шкафы);

- промышленные сети обеспечивают дополнительные преимущества по таким показателям, как надёжность, гибкость и эффективность, что является прямым следствием их децентрализованной структуры;

- широкие информационные возможности цифрового канала передачи данных; если ранее по одной паре проводов можно было получить только одно-единственное текущее значение измеряемой величины или, напротив, передать исполнительному механизму одну команду, то теперь количество передаваемых данных зависит только от «интеллектуальных» возможностей конечных устройств.

Информационный канал становится двунаправленным. Наиболее важным практическим следствием этого обстоятельства является возможность осуществления дистанционной параметризации и калибровки конечных устройств. Наличие единой базы параметров, обслуживание всех подключенных к цифровым промышленным сетям конечных устройств с одного рабочего места позволяет качественно повысить уровень службы метрологии (КИП, ТАИ) предприятия, резко поднимая оперативность и эффективность управления.

Существуют три основных режима обмена данными в цифровых промышленных сетях [4].

Режим «Ведущий-ведомый» («*Master-slave*»). Один из узлов цифровых промышленных сетей является ведущим («*Master*») устройством, которое последовательно опрашивает подчиненные узлы. В зависимости от содержания запроса ведомый («*slave*») узел выполняет полученную команду, либо передает ведущему текущие данные с подключенных конечных устройств. Типичным примером являются сети *PROFIBUS*. Как правило, роли ведущего и ведомого закрепляются жестко и не меняются в процессе функционирования сети.

Режим «Клиент-сервер». Данный режим используется в системах с гибким распределением функций. Узел-клиент запрашивает данные, а узел-сервер их предоставляет. При этом клиент может запрашивать несколько узлов, а сервер – иметь несколько клиентов. Также функции клиента и сервера могут совмещаться на одном узле. Примером может послужить сети *Foundation Fieldbus*.

Режим «Подписка». В этом режиме узел, нуждающийся в регулярном

поступлении какой-либо информации, подписывается на её получение от другого узла, после чего получает регулярные рассылки данных без дополнительных запросов. Режим имеет два варианта: в первом случае данные передаются циклически с определенным интервалом вне зависимости от динамики информации; во втором случае данные передаются только в случае их изменения. Данный режим также используется в сетях *Foundation Fieldbus*.

Вопросы надежности являются главными при оценке систем АСУТП. По надежности цифровой метод передачи данных намного превосходит аналоговый. Передача в цифровом виде малочувствительна к помехам и гарантирует доставку информации благодаря встроенным в протоколы Цифровых промышленных сетей механизмам контрольных сумм, квитирования и повтора поврежденных пакетов данных. Надежность систем АСУТП на базе цифровых промышленных сетей с интеллектуальными узлами значительно выше, чем в традиционных структурах, так как выход из строя одного узла не влияет, либо влияет незначительно на отработку технологических алгоритмов в остальных узлах. Разумное распределение управляющих функций снижает нагрузку на центральный управляющий компьютер, что также способствует повышению надежности системы в целом.

Важной проблемой является **защита промышленных сетей от повреждения кабельной сети**, особенно в том случае, если его топология имеет вид шины. Для критически важных технологических участков эта задача должна решаться дублированием линий связи или наличием нескольких альтернативных путей передачи информации.

Состав и структура АСУТП нередко модифицируются в силу изменяющихся требований производства. Поэтому важными критериями оценки закладываемых в проект решений являются гибкость и модифицируемость комплекса. По этим показателям распределенные системы на базе промышленных информационно-вычислительных сетей намного превосходят традиционную централизованную схему: добавление или удаление отдельных точек ввода-вывода и даже целых узлов требует минимальных монтажных работ и может производиться без остановки системы автоматизации. Переконфигурация системы осуществляется на уровне программного обеспечения и также занимает минимальное время.

Другая проблема, связанная с развитием системы АСУТП, заключается в необходимости применять **оборудование различных производителей**. На ранних этапах развития промышленных сетей вопрос совместимости протоколов, заложенных в интеллектуальные оконечные устройства, стоял очень остро. Сейчас практически все широко распространенные решения в этой сфере стандартизованы, что позволяет разработчикам АСУТП выбирать оборудование из широкого спектра поставщиков, оптимизируя стоимость проекта и его технологическую структуру.

Следует выделить три наиболее значимых параметра, по которым можно некоторым образом сравнивать сети, и которые послужат основой для классификации, а именно: *топология сети, объем информационного сервиса, предоставляемого сетью, и способ доступа к физическому каналу передачи данных*.

11.3. Топология сети

Наиболее распространенный тип сетевой топологии – это общая шина (рис. 11.1). Основное преимущество – простота и дешевизна, легкость переконфигурирования. Не боится отключения или подключения устройств во время работы. Хорошо подходит для сильно распределенных объектов. Имеет следующие недостатки: присутствие в каждой точке сети общего трафика, опасность потери связи при одиночном обрыве канала связи или фатальном выходе из строя одного узла.



Рис. 11.1. Сеть с шинной топологией

Топология типа «кольцо» (рис. 11.2) очень популярна со времен выхода на рынок сети *Token Ring* фирмы *IBM*. Использование протокола *IEEE-802.5* (*Institute of Electrical and Electronic Engineers* – Институт инженеров по радиоэлектронике, США, занимающийся стандартизацией в области информационных технологий, 802 - комитет, работающий в области стандартизации локальных сетей) с циклической передачей маркера позволяет сетям с такой топологией обеспечить абсолютную предсказуемость и хорошую пропускную способность. Основными недостатками топологии являются высокая стоимость организации канала связи, нерациональное использование сетевого трафика и потеря всей синхронизации сети в случае сбоя и отключения хотя бы одного из узлов. Разработаны отказоустойчивые сетевые комплексы на основе концепции отказоустойчивого кольца (*HIPER-Ring*), которые позволяют не только противостоять отдельным отказам оборудования и линий связи, но и проводить регламентные работы или работы по реконфигурации сети, не останавливая обмена данными в системе. Одним из наиболее примечательных свойств этого решения является чрезвычайно малое время восстановления после отказа: в отличие от стандартного алгоритма «покрывающего дерева» (протокол *IEEE 802. Id*), оно составляет менее се-

кунды.



Рис. 11.2. Сеть с кольцевой топологией

Радиальная топология или «звезда» (рис. 11.3), являясь логическим продолжением мнноканала, обеспечивает дополнительную защиту всей сети от выхода из строя или отключения узлов, позволяет существенно оптимизировать трафик, передавая пакеты только в те «лучи», где находятся их получатели. Последнее особенно существенно для сетей, где допускаются коллизии.

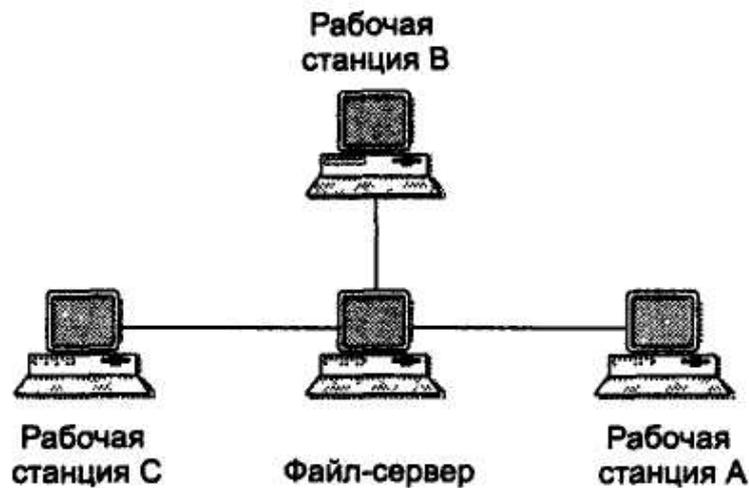


Рис. 11.3. Сеть с радиальной топологией

11.4. Полнота информационного сервиса

Существует хорошо известная модель взаимодействия открытых систем Международной организации по стандартизации (*ISO/OSI*), призванная разграничить и формализовать функции, выполняемые различными уровнями аппаратного и программного обеспечения сетевой структуры [5]. Эта модель определяет семь уровней сервиса, предоставляемого сетью (табл. 11.1).

Таблица 11.1.

Уровни, определяемые моделью взаимодействия открытых систем
(*ISO/OSI - Open System Interconnection Model*)

7	<i>Application</i>	Прикладной уровень
6	<i>Presentation</i>	Уровень представления
5	<i>Session</i>	Уровень сессий
4	<i>Transport</i>	Транспортный уровень
3	<i>Network</i>	Сетевой уровень
2	<i>Data Link</i>	Канальный уровень
1	<i>Physical</i>	Физический уровень

На *физическом* уровне определяются физические характеристики канала связи и параметры сигналов.

Канальный уровень формирует основную единицу передаваемых данных – пакет и отвечает за дисциплину доступа устройства к каналу связи (*Medium Access Control*) и установление логического соединения (*Logical Link Control*).

Сетевой уровень отвечает за адресацию и доставку пакета по оптимальному маршруту.

Транспортный уровень разбирается с содержимым пакетов, формирует ответы на запросы или организует запросы, необходимые для уровня сессий.

Уровень *сессий* оперирует сообщениями и координирует взаимодействие между участниками сети.

Уровень *представления* занимается преобразованием форматов данных, если это необходимо.

Прикладной уровень – это набор интерфейсов, доступных программе пользователя.

На практике большинство промышленных сетей ограничивается только тремя из них, а именно физическим, канальным и прикладным. Наиболее «продвинутые» сети решают основную часть задач аппаратно, оставляя программную прослойку только на седьмом уровне. Дешевые сети (например *ModBus*) зачастую используют на физическом уровне *RS-232* или *RS-485*, а

все остальные задачи, начиная с канального уровня, решают программным путем.

11.5. Тип доступа к физическому каналу

Согласно *ISO/OSI*, это второй, канальный, уровень модели. Существует два типа доступа: с коллизиями и без коллизий. Доступ к каналу с коллизиями используют *Ethernet*, *CAN* и *LON*. Такой тип доступа позволяет эффективно использовать пропускную способность канала и предоставлять доступ в сеть нескольким активным узлам.

Недостатком такого подхода являются собственно коллизии, которые не позволяют указанным сетям на равных конкурировать с детерминированными протоколами в ряде задач. Для разрешения коллизий применяются различные приемы.

В сетях *Ethernet* применяется технология *CSMA/CD* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Технология основана на постоянном прослушивании линии всеми узлами и генерации повторной попытки занятия канала через случайный промежуток времени в случае, если обнаружена попытка одновременного доступа к каналу нескольких станций.

Принципиально другую форму разрешения коллизий демонстрирует *CAN*. Его протокол относится к классу *CSMA/CR* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution*). Разрешение коллизий производится аппаратурой по принципу побитового сравнения сетевых адресов конфликтующих устройств. Станция, пытающаяся передать очередную «единичку» из своего адреса, видя, что реально в канале передается «ноль», понимает, что конфликтует, и откладывает попытку занять канал до лучших времен. Станция, передающая «нолик», спокойно продолжает свое дело. Таким образом, хотя коллизии и возникают, но разрешаются предсказуемо и в предсказуемое время. Именно это позволило сетям на основе *CAN*-протокола занять достойное место в различных отраслях, особенно в автомобилестроении, где важны мультимастерные сети с распределенным интеллектом.

Дальнейшее развитие данная технология получила в сетях *LON*. Только в отличие от *CAN* аргументами в споре за канал являются не сетевые адреса, а динамически изменяемые приоритетные уровни пакетов, что позволяет, например, пакету, несущему важную информацию и требующему немедленного ответа, легко «пробиться» через поток низкоприоритетных информационных обменов.

Но основная масса промышленных сетевых протоколов использует детерминированный способ доступа к каналу по принципу «запрос-ответ» или с помощью передачи

маркера. Это эффективный путь для организации четкого и ритмичного сетевого взаимодействия. В основе протоколов с передачей маркера лежит принцип постоянного наличия в сети синхронизирующего пакета, называемого маркером (рис. 11.4).

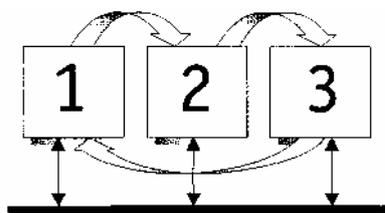


Рис. 11.4. Последовательность прохождения маркера среди активных участников сети

В табл. 11.2 приведены основные характеристики некоторых наиболее распространенных локальных сетей, каждая из которых принадлежит своему классу (по топологии, по среде передачи информации, по скорости передачи, по методу доступа и т.д.).

Таблица 11.2.

Некоторые стандартные сети

Параметры (характеристики)	<i>Ethernet</i>	<i>Token Ring</i>	<i>Arc Net</i>	<i>FDDL</i>
Топология	Шина	Звезда-кольцо	Звезда, шина	Кольцо
Скорость передачи, Мбит/с	10(100)	4(16)	2,5	100
Количество абонентов	До 1024	До 255	До 255	До 1000
Среда передачи	Коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный (ОВ) кабель	Коаксиальный кабель, витая пара, ОВ кабель	Коаксиальный кабель, витая пара	ОВ кабель
Максимальная протяженность	2,5 км (6,5 км)	300 м	6 км	20 км
Максимальное расстояние между абонентами	1 км	90 м	600 м	2 км
Метод доступа	<i>CSMA/CD</i>	Маркер	Маркер	Маркер
Метод кодирования	Манчестер -II	Манчестер -II	<i>Arcnet</i>	4В/5В
Стоимость адаптера, долл.	20...800	200... ...400	20.. ...100	2000... 4000

Таблица 11.2 может дать лишь общие ориентиры пользователю, решившему установить сеть, но для окончательного выбора необходимо учитывать гораздо больше факторов.

11.6. Наиболее популярные промышленные сетевые решения

За последние два десятилетия разработано и внедрено множество законченных аппаратно-программных решений, значительно отличающихся по своим параметрам и сферам применения. Популярными и широко апробированными, по существу ставшими стандартами являются следующие сети.

11.6.1. AS-интерфейс

AS-интерфейс (*Actuator/Sensor Interface*) был представлен в виде концепции в 1993 году. Относится к классу цифровых промышленных сетей нижнего уровня АСУ, т.е. конечных устройств, осуществляя непосредственную интеграцию датчиков и исполнительных механизмов в систему автоматизации. Позволяет полностью исключить из АСУТП аналоговые линии связи, кроссовые шкафы и другое вспомогательное оборудование. Поддерживается ведущими производителями средств автоматизации, в числе которых фирмы *Siemens*, *Pepperl+Fuchs* и другие. Максимальное время цикла опроса составляет 5-10 мс, то есть сравнимо с циклом отработки программы в контроллере. Благодаря этому сети на базе AS-интерфейса активно применяются в распределенных АСУТП реального времени, например в системах управления конвейерными производствами. Первоначально AS-интерфейс был ориентирован на работу исключительно с цифровыми двоичными данными, поэтому длина информационной посылки рекордно малая – всего 4 бита. Новая редакция спецификации AS-интерфейса позволяет подключать к сети аналоговые датчики и поворотные шифраторы. Максимальное количество узлов равно 62, максимальная длина с использованием повторителей – 300 м. Данные и питающее напряжение передаются по одной паре проводов. Сети на базе AS-интерфейса отличаются экономичностью и очень большим выбором средств комплексирования с другими промышленными сетями.

11.6.2. Протокол CAN

Протокол *CAN (Controller Area Network)* определяет только первые два уровня *ISO/OSI* – физический и уровень доступа к среде передачи данных. С начала 90-х годов, когда компания *Bosch* разработала соответствующую спецификацию, на основе этого протокола реализовано большое количество полнофункциональных сетей, в том числе, таких как *SDS*, *CANOpen*, *DeviceNet* и др. Основными достоинствами являются высокая скорость (до 1

Мбит/с), метод доступа *CSMA/CA* (не путать с *CSMA/CD*, реализованным в *Ethernet*), возможность иметь в сети несколько ведущих устройств, надежная система обнаружения и исправления ошибок. *CSMA/CA* сочетает минимальную задержку передачи информации с эффективным арбитражем ситуаций, когда несколько узлов начинают передавать данные одновременно. Благодаря этому гарантируется доставка сообщения, то есть система является детерминированной. Своеобразным «показателем качества» *CAN* являются автомобили «Мерседес», электроника которых основана на этом протоколе. Технические характеристики (для *DeviceNet*): максимальное расстояние 500 м, максимальное количество узлов 64, длина информационной посылки 8 байт, используемый кабель *Belden 3082A*.

11.6.3. Протокол *Interbus*

Спецификация (протокол) *Interbus* разработана фирмой *Phoenix Contact* в 1984 году. Следует отметить максимальное расстояние, которое может охватывать эта сеть, – до 13 километров (рис. 11.5). Для сетей, физический уровень которых основан на стандарте *RS-485*, этот показатель очень высокий и обеспечивается ретрансляцией сигнала в каждом узле. Максимальное количество узлов 512, расстояние между узлами до 400 метров, используемый кабель *Belden 3119A*. Узлы-ретрансляторы образуют основу топологии *Interbus*, оконечные же устройства подключаются к дополнительным кольцевым сегментам, в которых питающее напряжение передается вместе с данными. Длина дополнительных сегментов может составлять до 200 метров, для их прокладки используется обычная неэкранированная витая пара.

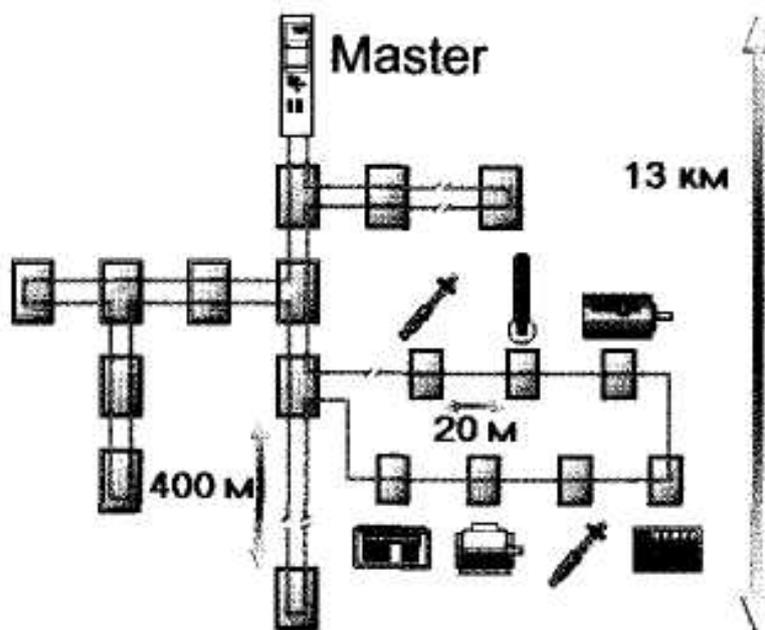


Рис. 11.5. Топология сети *Interbus*

Доступ к среде передачи данных в *Interbus* организован по принципу суммирующего фрейма и обеспечивает гарантированное время передачи информации. Таким образом, *Interbus* является хорошим решением для унифицированной автоматизации производства, компоненты которого территориально разнесены на большое расстояние.

11.6.4. Сети *PROFIBUS*

PROFIBUS – семейство промышленных сетей, разработано фирмой *Siemens* в начале 90-х годов. На нижнем уровне применяется сеть *PROFIBUS-DP* (рис. 11.6), обеспечивающая высокоскоростной обмен данными с оконечными устройствами. Протокол физического уровня соответствует стандарту *RS-485*. Скорость обмена прямо зависит от длины сетевого сегмента и варьируется от 100 кбит/с на расстоянии 1200 метров до 12 Мбит/с на дистанции до 100 метров. Взаимодействие узлов в сети *PROFIBUS* определяется моделью «*Master-slave*». *Master* сегмента последовательно опрашивает подключенные узлы и выдает команды в соответствии с заложенной в него технологической программой. Протокол обмена данными гарантирует определенное время цикла опроса в зависимости от скорости обмена и числа узлов в сегменте (рис. 11.7), что позволяет применять *PROFIBUS* в системах реального времени.

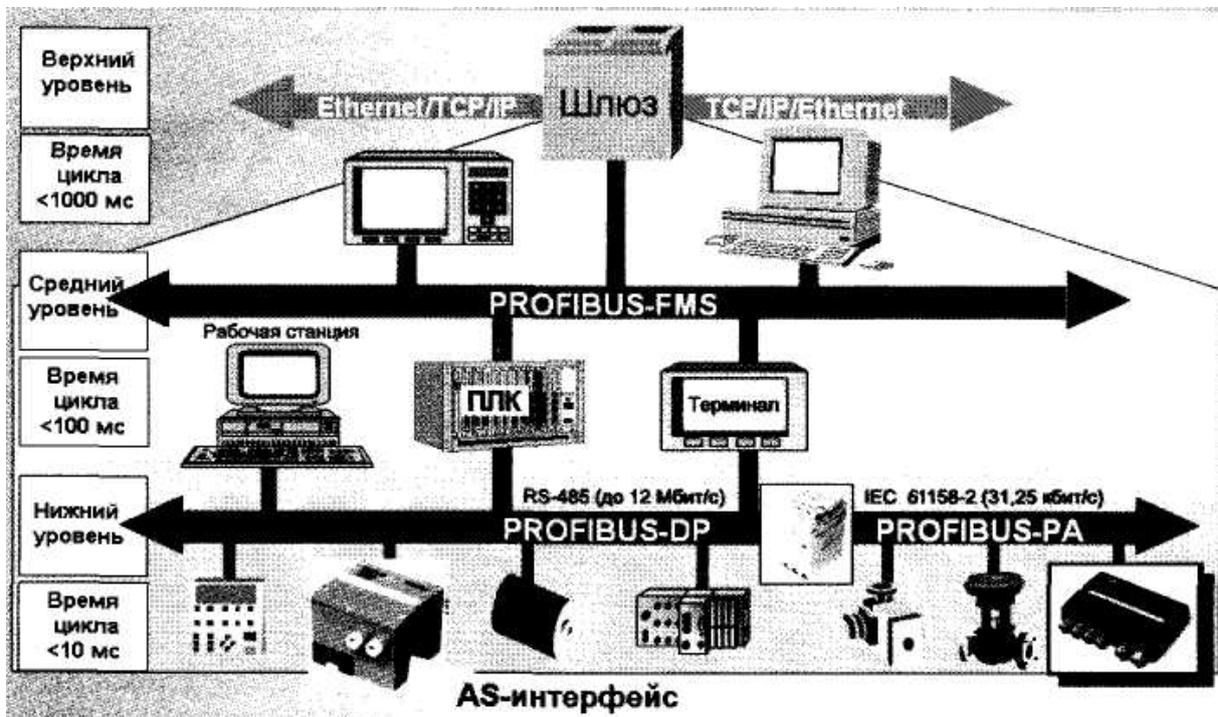


Рис. 11.6. Структура АСУ ТП на базе *PROFIBUS*

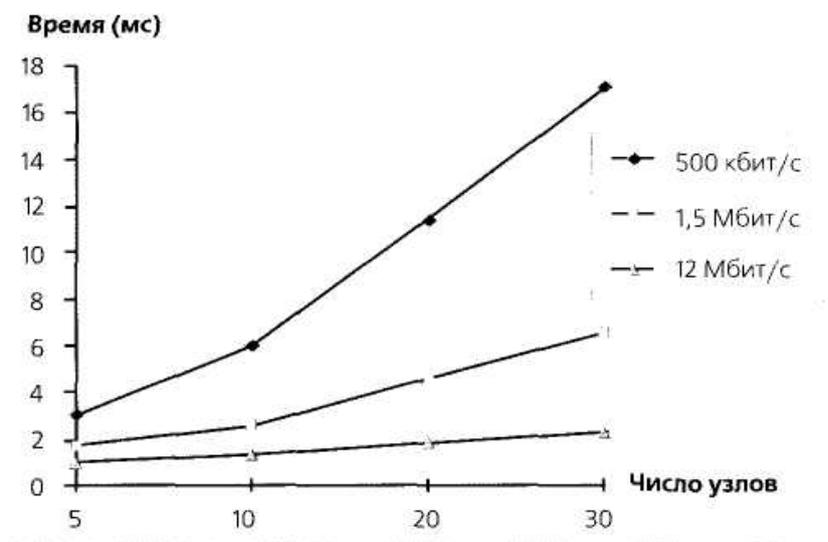


Рис. 11.7. Зависимость длительности цикла опроса от конфигурации сети *PROFIBUS*

На более высоком уровне применяется сеть *PROFIBUS-FMS*, ориентированная на обеспечение информационного обмена одноранговых устройств. Во взрывоопасных зонах используется *PROFIBUS-PA*, основанная на стандарте физического уровня *IEC 61158-2*. Сегмент *PROFIBUS-PA* может иметь длину до 1900 метров со скоростью обмена между узлами 31,25 кбит/с. Применяемый кабель – *Belden 3077*. Сегменты *PROFIBUS-PA* подключаются к *PROFIBUS-DP* через разделительные мосты, обеспечивающие функционирование сети во взрывоопасной зоне.

11.6.5. Сети *Ethernet*

Сеть *Ethernet* принята комитетом 802 *IEEE* (*Institute of Electrical and Electronic Engineers* – институт инженеров по электротехнике и электронике) и *ECMA* (*European Computer Manufacturers Association*) в 1985 году в качестве международного стандарта *IEEE 802.3* («eight oh two dot three»). Он определяет множественный доступ к моноканалу типа «шина» с обнаружением конфликтов и контролем передачи (*CSMA/CD* - *Carrier-Sense Multiple Access/Collision Detection* - децентрализованный метод доступа к сети с контролем несущей и обнаружением конфликтов). Распространение имеют две версии - *Ethernet* (протокол 802.3) и *Fast Ethernet* (протокол 802.3u).

В классической сети *Ethernet* применяется стандартный 50-омный коаксиальный кабель двух видов (толстый и тонкий). Однако в последнее время все большее распространение получает версия *Ethernet* на витой паре, так как монтаж и обслуживание их гораздо проще.

Доступ к моноканалу осуществляется по методу *CSMA/CD*. Передача идет пакетами переменной длины. Предусмотрена индивидуальная, групповая и широковещательная адресация.

Помимо стандартной топологии типов «шина» (рис. 11.8, *а*) применяется также топология типа «пассивная звезда» и «дерево». При этом используются репитеры (повторители) и пассивные (репитерные) концентраторы, соединяющие между собой различные части (сегменты) сети (рис. 11.8, *б*).

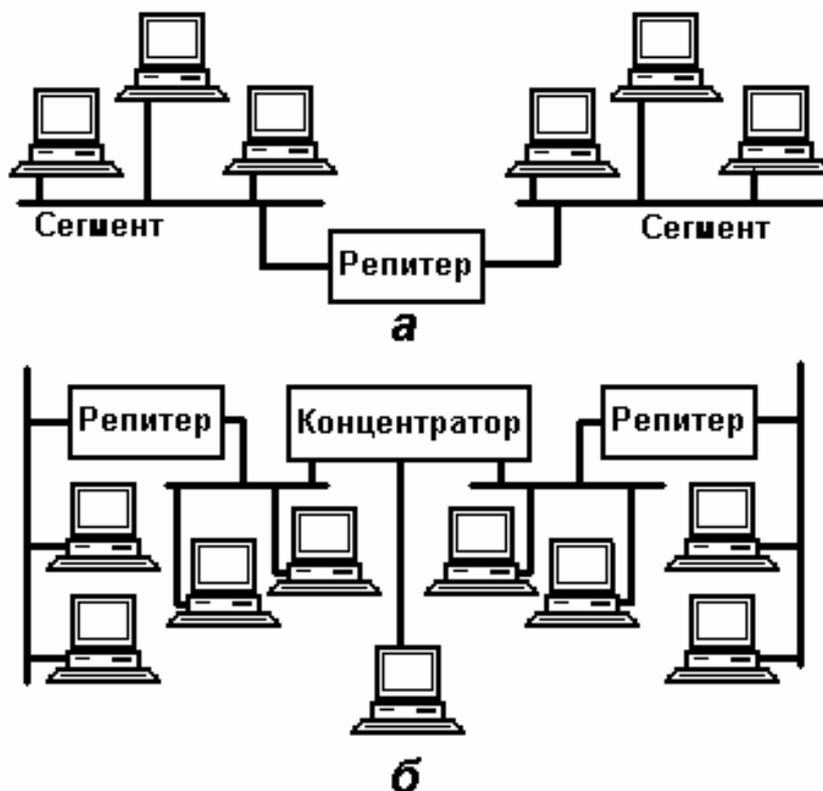


Рис. 11.8. Топология сети *Ethernet*

В качестве сегмента может выступать единичный абонент. Главное - чтобы в полученной топологии не было замкнутых путей (петель). Таким образом, абоненты подсоединены к «шине» так, что сигнал от каждого из них распространяется во все стороны и не возвращается назад. Максимальная длина кабеля всей сети в целом (максимальный путь сигнала) теоретически может достигать 6,5 км, но практически не превышает 2,5 км.

Для сети *Ethernet*, работающей на скорости 10 Мбит/с, стандарт определяет 4 основных типа среды передачи:

- 10 *BASE 5* (толстый коаксиальный кабель);
- 10 *BASE 2* (тонкий коаксиальный кабель);
- 10 *BASE-T* (витая пара);
- 10 *BASE-F* (оптоволоконный кабель).

Обозначение среды передачи включает в себя три элемента: «10» - скорость передачи 10 Мбит/с; «*BASE*» - передача в основной полосе частот (без модуляции высокочастотным сигналом); последний элемент означает допустимую длину сегмента:

- «5» - 500 метров;

- «2»-200 метров (точнее 185 метров) или вид линии связи «Т» - витая пара («*twister pair*»), «F» - ОВ кабель («*fiber optic*»).

Более быстрая версия *Fast Ethernet* имеет скорость передачи 100 Мбит/с. В этот протокол была заложена поддержка трех физических сред передачи данных:

- кабель, содержащий две витые пары пятой категории (*100Base-TX*);
- кабель, содержащий четыре витые пары третьей категории (*100Base-T4*);
- две оптические линии на базе многомодового оптоволокна (*100Base-FX*).

Основным фактором, обеспечившим *Ethernet* высокую популярность в сфере автоматизации, явилось наличие широкого выбора совместимых между собой аппаратных и программных средств построения сетей этого стандарта. Большое количество производителей и конкуренция между ними дали естественный экономический результат: решения на базе *Ethernet* практически вытеснили все остальные из офисных распределенных приложений. Поэтому естественно желание пользователей распространить сферу применения *Ethernet* в промышленные цеха на уровень низовой автоматики. Однако использование стандартного набора аппаратных и программных решений в АСУТП невозможно, так как офисное оборудование не выдержит эксплуатации в запыленных помещениях, а протокол 802.3 не гарантирует сеть от «зависания» при повышении интенсивности трафика. Тем не менее, промышленный *Ethernet* имеет широкое применение. В 1997 году преодолен главный недостаток технологии *Ethernet*, связанного с протоколом доступа *CSMA/CD*. Еще на уровне офисных приложений была решена проблема недетерминированности *Ethernet*. Переход от концентраторов (*hub*) к коммутаторам (*switch*) и от полудуплексных каналов связи к дуплексным позволил снять вопрос о возможности блокировки обмена по сетевому каналу из-за многочисленных коллизий информационных кадров. Благодаря своим «интеллектуальным» возможностям коммутатор направляет полученный информационный кадр только на то подключение, где реально находится абонент, а не широкоэвещательно во всю сеть. В результате общий объем трафика в сети многократно сокращается. Фактически топология «общая шина» на логическом уровне трансформируется в топологию «каждый с каждым», обеспечивая гарантированную доставку данных.

Стремительное внедрение средств автоматизации и компьютерных технологий привело в 1998 году к очередному поднятию планки пропускной способности сети *Ethernet*: *IEEE* выпустил протокол 802.3z (*1000Base-X*), который устанавливает скорость передачи 1 Гбит/с. Новый протокол поддерживает следующие среды передачи данных:

- многомодовое оптоволокно с длиной волны 850 нм (*1000Base-SX*);
- одно- и многомодовое оптоволокно с длиной волны 1300 нм (*1000Base-LX*);

- экранированная витая пара (1000Base-CX).

11.6.6. *Foundation Fieldbus*

Foundation Fieldbus (далее *FF*) – наиболее «продвинутый» стандарт цифровых промышленных сетей, появившийся в 1995 году усилиями крупных североамериканских фирм. По многим параметрам эта система схожа с *PROFIBUS-PA*: возможность установки во взрывоопасных зонах, передача информационного сигнала вместе с питающим напряжением по одной паре проводов, двухуровневая иерархия и т.д. *Foundation Fieldbus* – самый молодой и быстро растущий стандарт на промышленную сеть. Он вобрал в себя самые современные технологии построения управляющей сети масштаба предприятия. Представляет собой двухуровневый сетевой протокол, объединяющий в себе черты мощной информационной магистрали для объединения компьютеров верхнего уровня и управляющей сети, объединяющей контроллеры, управляющие компьютеры, датчики и исполнительные механизмы. Предоставляет полный сервис, от передачи файлов и больших объемов информации до замыкания контуров управления контроллеров, включая обеспечение загрузки в контроллеры управляющих программ и доступ к пассивному оборудованию.

Практически стандарт определяет два уровня сети. На нижнем уровне (*H1*) в качестве физической среды передачи данных за основу взят стандарт *IEC 61158-2*, который позволяет использовать сеть *FF* на взрывоопасных производствах с возможностью запитки датчиков непосредственно от канала связи.

Скорость передачи информации на уровне *H1* составляет 31,5 кбит/с.

На верхнем уровне (бывший *H2*) в настоящее время, как правило, используется *FF HSE (High Speed Ethernet)*, основанный, как видно из названия, на сети *Ethernet* со скоростью 100 Мбит/с.

Особенностью стандарта *FF* является то, что в нем определен дополнительный пользовательский уровень (*User Layer*), позволяющий, применяя предопределенные функциональные блоки, строить промышленные сети с распределенным интеллектом. Для *FF* разработан специальный язык описания конечных устройств (*Device Description Language*), использование которого позволяет подключать новые узлы к сети по широко применяемой в обычных IBM PC совместимых компьютерах технологии *plug-and-play*. Достаточно физически подключить новое устройство, и оно тут же самоопределится на основании заложенного описания *DD (Device Description)*, после чего все функциональные возможности нового узла становятся доступными в сети. При конфигурировании инженеру достаточно соединить входы и выходы имеющихся в его распоряжении функциональных блоков, чтобы реализовать требуемый алгоритм (рис. 11.9). Пользователям доступны как типовые *DD* для стандартных устройств (клапанов, датчиков температуры и т.д.), так и возможность описания нестандартных изделий. Во-вторых, в отличие от

других промышленных сетей, *Foundation Fieldbus* ориентирована на обеспечение одноранговой связи между узлами без центрального ведущего устройства. Этот подход даёт возможность реализовать системы управления, распределенные не только физически, но и логически, что во многих случаях позволяет повысить надежность и живучесть АСУ ТП.

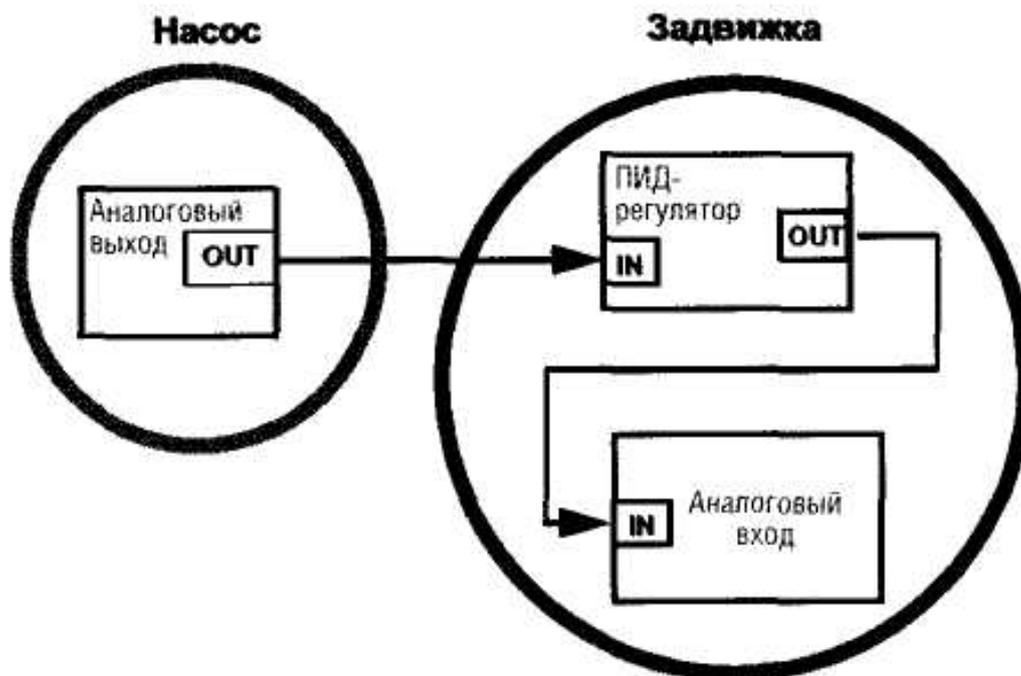


Рис. 11.9. Настройка алгоритма управления в *Foundation Fieldbus*

В *Foundation Fieldbus* реализованы самые сложные технологии обмена информацией: подписка на данные, режим «клиент-сервер», синхронизация распределенного процесса и т.д.

Когда обсуждается **выбор типа промышленной сети**, необходимо уточнять, для какого именно уровня автоматизации этот выбор осуществляется. В зависимости от места промышленной сети в иерархии промышленного предприятия требования к её функциональным характеристикам будут различны.

Традиционная иерархия системы управления предприятия представляется в виде «трехуровневой» пирамиды (сверху вниз):

- 1) уровень управления предприятием,
- 2) уровень управления технологическим процессом,
- 3) уровень управления устройствами.

На *уровне управления предприятием* располагаются обычные *IBM PC* совместимые компьютеры и файловые серверы, объединенные локальной сетью. Задача вычислительных систем на этом уровне – обеспечение визуального контроля основных параметров производства, построение отчетов, ар-

хивирование данных. Объёмы передаваемых между узлами данных измеряются мегабайтами, а временные показатели обмена информацией не являются критичными.

На *уровне управления технологическим процессом* осуществляется текущий контроль и управление либо в ручном режиме с операторских пультов, либо в автоматическом по заложенному алгоритму. На этом уровне выполняется согласование параметров отдельных участков производства, обработка аварийных и предаварийных ситуаций, параметризация контроллеров нижнего уровня, загрузка технологических программ, «ручная» выдача команд на исполнительные механизмы. Информационный кадр на этом уровне содержит, как правило, несколько десятков байтов, а допустимые временные задержки могут составлять от 100 до 1000 миллисекунд в зависимости от режима работы. С нижнего уровня собираются текущие показатели контролируемых устройств и механизмов.

На *уровне управления устройствами* располагаются контроллеры, осуществляющие непосредственный сбор данных и управление оконечными устройствами – датчиками и исполнительными механизмами. Данные, которыми контроллер обменивается с оконечным устройством, обычно имеют длину 1-2 байта, а требования к скорости опроса устройств наиболее жесткие – не более 10 мс.

Развитие сетевых технологий сделали эту стройную структуру значительно более сложной, а местами и размытой (рис. 11.10).

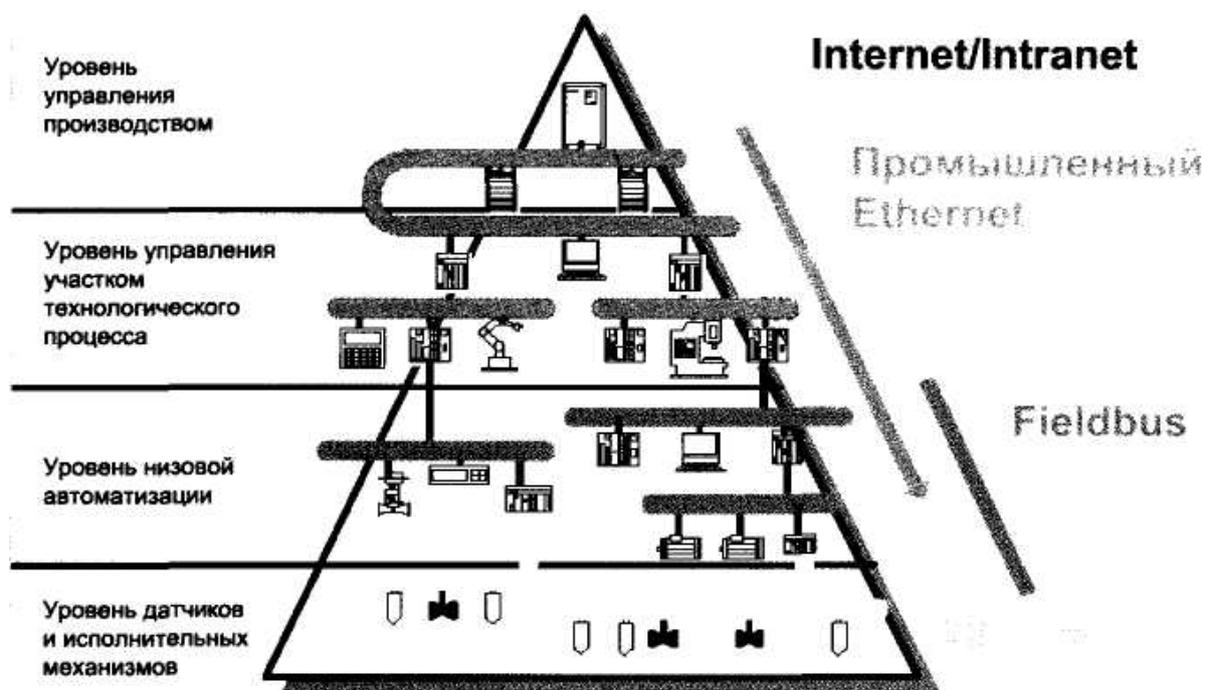


Рис. 11.10. Иерархия современной распределённой системы автоматизации

АСУТП все более интегрируется с АСУП, а через нее неизбежно выхо-

дит в сферу Интернет/Интранет-технологий. *Web*-технологии позволяют руководителю иметь текущую производственную информацию находясь в любой точке мира. Промышленный *Ethernet* поддерживается всё возрастающей номенклатурой аппаратно-программных средств, соответствующих не только стандарту *Ethernet*, но и жестким требованиям производственной сферы, что открывает новые возможности для интеграции. Появление сетей *AS*-интерфейса фактически означало появление четвертого, самого нижнего уровня распределенных АСУТП – уровня сети оконечных устройств. Все более расширяется сектор цифровых промышленных сетей, применяемых во взрывоопасных зонах на предприятиях химической, нефтегазовой и других отраслей с опасными условиями производства.

11.6.7. Выбор конфигурации *Ethernet*

При выборе конфигурации сети, состоящей из сегментов различных типов, возникают вопросы, связанные прежде всего с максимально допустимым размером сети и максимально возможным числом различных элементов.

Для получения сложных конфигураций *Ethernet* из отдельных сегментов применяются концентраторы двух типов:

1) пассивные (репитерные) концентраторы выполняют функцию собранных в одном месте в единый конструктив нескольких повторителей (репитеров) или трансиверов и никак логически не разделяют сегменты, подключенные к ним. Никакой обработки информации они не производят, а только восстанавливают и усиливают сигналы, могут также преобразовывать электрические сигналы в оптические и наоборот. К пассивному концентратору могут подключаться только сегменты или отдельные абоненты одной и той же сети. Например, сегменты *Ethernet*, выполненные на тонком коаксиальном кабеле, толстом коаксиальном кабеле, оптоволоконном кабеле. И хотя сеть при этом имеет физическую топологию «звезда» («пассивная звезда»), но логически сеть остается «шиной»;

2) коммутирующие концентраторы или коммутаторы, которые передают информацию между сегментами, но не передают конфликты с сегмента на сегмент. При их использовании конфликты отдельных сегментах решаются в самих сегментах и не распространяются по сети, как в случае использования репитерных концентраторов.

Когда применяются более сложные коммутирующие концентраторы, конфликты в отдельных сегментах решаются в них же, они не распространяются по сети, как в случае использования репитерных концентраторов. Это имеет принципиальное значение для выбора топологии сети, так как используемый в ней метод доступа (*CSMA/CD*) предполагает наличие конфликтов и их разрешение, причем общая длина сети как раз и определяется размером зоны конфликта (*collision domain*).

Таким образом, применение репитерного концентратора не разделяет зону конфликта, в то время как каждый коммутирующий концентратор делит

зону конфликта на две части. Однако репитерные концентраторы гораздо проще и дешевле.

11.6.8. Методика определения работоспособности сети

выбранной конфигурации

При выборе конфигурации сети типа *Ethernet* используют два основных подхода. При первом необходимо соблюдать определенный набор правил при соединении отдельных ПК и сегментов:

1. Репитер или концентратор, подключенный к сегменту, снижает на единицу максимальное число подключаемых к нему абонентов.

2. Полный путь между двумя любыми абонентами должен включать в себя не более пяти сегментов, четырех концентраторов (репитеров) и двух трансиверов.

3. Если путь между двумя абонентами состоит из пяти сегментов и четырех концентраторов, то количество сегментов, к которым подключены абоненты не должно превышать трех, а остальные сегменты должны просто связывать между собой концентраторы.

4. Если путь между абонентами состоит из четырех сегментов и трех концентраторов, то:

- максимальная длина оптоволоконного кабеля *10BASE-FL*, соединяющего между собой концентраторы (репитеры), не должна превышать 100 м;
- максимальная длина оптоволоконного кабеля *10BASE-FL*, соединяющего концентраторы (репитеры) с ПК, не должна превышать 400 м;
- ко всем сегментам могут подключаться компьютеры.

При выполнении этих правил можно быть уверенным, что сеть будет работоспособной. На рис. 11.11 показан пример максимальной конфигурации, удовлетворяющей этим правилам. Здесь максимально возможный путь реализован между двумя нижними абонентами: он включает в себя 5 сегментов и 4 концентратора (репитера).

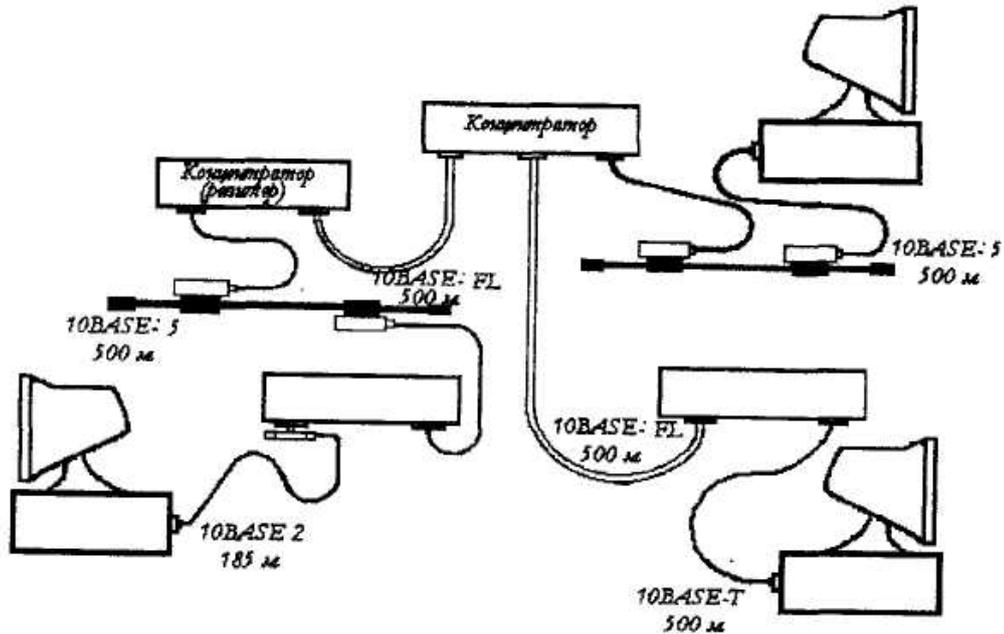


Рис. 11.11. Максимальная конфигурация сети

Второй подход основан на подсчете временных характеристик конфигурации сети (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Расчет временных характеристик конфигурации сети *Ethernet*

Тип сегмента <i>Ethernet</i>	Максимальная длина, м	Начальный сегмент, мкс		Промежуточный сегмент, мкс		Конечный сегмент, мкс		Задержка на 1 м длины, мкс/м
		t_0	t_m	t_0	t_m	t_0	t_m	
10BASE 5	500	11,8	55,0	46,5	89,8	169,5	212,8	0,087
10BASE 2	185	11,8	30,8	46,5	65,5	169,5	188,5	0,103
10BASE-T	100	15,3	26,6	42,0	53,3	165,0	176,3	0,113
10BASE-FL	2000	12,3	212,3	33,5	233,5	156,5	356,5	0,100
FOIRL	1000	7,8	107,8	29,0	129,0	152,0	252,0	0,100
AUI	50	0	5,1	0	5,1	0	5,1	0,103

При этом применяются две системы расчета.

1. Вычисление двойного (кругового) времени прохождения сигнала по сети.
2. Проверка допустимости получаемого межкадрового временного интервала.

Эти расчеты проводятся для наихудшего случая.

В первом случае используются такие понятия, как «начальный сегмент», «промежуточный сегмент» и «конечный сегмент». Промежуточных сегментов может быть несколько, а начальный и конечный сегменты при

разных расчетах могут меняться местами. Для расчетов используются величины задержек.

Величины задержек для расчетов двойного (кругового) времени прохождения сигнала (задержки даны в битовых интервалах).

В таблице:

- t_0 - минимальный временной интервал задержки;
- t_m - максимальный временной интервал задержки;
- *FOIRL (Fiber Optic Inter - Repeater Link)* - стандарт оптоволоконной связи между двумя репитерами сети *Ethernet*;
- *AUI* - тип разъема и кабеля для подключения сетевого адаптера *Ethernet* к трансиверу (*MAU*) «толстого» коаксиального кабеля.

Методика расчета следующая:

- в сети выделяется путь наибольшей длины;
- если длина сегмента не максимальна, то рассчитывается двойное (круговое) время прохождения в каждом сегменте выделенного пути по формуле $t_s=L \cdot t_l+t_0$, где L -длина сегмента в метрах (при этом надо учитывать - начальный, промежуточный и конечный сегмент);
- если длина сегмента максимальна, то из таблицы для него берется величина задержки t_m ;
- суммарная величина задержек всех сегментов выделенного пути не должна превышать 512 битовых интервалов (51,2 мкс);
- затем необходимо проделать те же действия для обратного направления выбранного пути (т.е. считая конечный сегмент начальным или наоборот);
- если задержки не превышают в обоих случаях 512 битовых интервалов, то сеть работоспособна.

Пример 11.1. Произвести расчет временных характеристик конфигурации сети представленной на рис. 11.11.

Путь наибольшей длины - это путь между двумя нижними на рисунке компьютерами. Он включает в себя 5 сегментов: *10BASE 2*, *10BASE 5*, *10BASE - FL* (2 сегмента) и *10BASE - T*. Произведем расчет, считая начальным сегментом *10BASE 2*, а конечным - *10BASE - T*.

Начальный сегмент *10BASE 2* имеет максимальную длину 185м, следовательно, для него величина задержки 30,8 мкс.

Промежуточный сегмент *10BASE 5* также имеет максимальную длину (500 м), тогда задержка 89,8 мкс.

Оба промежуточных сегмента *10BASE - FL* имеют длину по 500 м, следовательно, задержка $t_3=500 \cdot 0,1+33,5=83,5$ мкс.

Конечный сегмент *10BASE - T* имеет максимальную длину (100 м) - $t_3=t_m=176,3$.

В путь наибольшей длины входят также 6 *AUI*-кабелей: два из них (в сегменте *10BASE 5*) показаны на рис. 11.11, а четыре (в двух сегментах

10BASE -FL) не показаны. Будем считать, что суммарная длина всех этих кабелей равна 200 м, т.е. четырем максимальным длинам. Тогда

$$t_3 = 4 \cdot 5,1 = 20,4.$$

В результате суммарная задержка для всех пяти сегментов составит $t_3 = 30,8 + 89,8 + 83,5 + 83,5 + 176,3 + 20,4 = 484,3$, что меньше 512, т.е. сеть работоспособна.

При аналогичном расчете t_3 в предположении, что начальный сегмент - 10BASE -T, а конечный - 10BASE 2 $t_3 = 492,3$ мкс, что опять меньше 512-ти.

Если в разрабатываемой конфигурации сети путь наибольшей длины не столь очевиден, то подобные расчеты необходимо произвести для всех путей, претендующих на наибольшую задержку символа. В любом случае двойное время прохождения не должно превышать 51,2 мкс (512 битовых интервалов).

Однако расчета t_3 наибольшего пути в соответствии со стандартом недостаточно. Необходим еще один расчет, определяющий соответствие стандарту величины межкадрового интервала. Эта величина не должна быть меньше 96 битовых интервалов (9,6 мкс).

Однако при прохождении кадров через репитеры и концентраторы межкадровый интервал может сокращаться, в результате два кадра в конце концов могут восприниматься как один. При расчете необходимо учитывать начальный и промежуточный сегмент (конечный сегмент не вносит вклада в сокращение межкадрового интервала, т.к. кадр доходит по нему до принимающего ПК без прохождения репитеров и концентраторов).

Величина сокращения t_c межкадрового интервала для сегментов 10BASE 5, 2, T берется равной 16 битовым интервалам в случае начального сегмента и 11 битовых интервалов в случае промежуточного. Для сегмента 10BASE - FL эти величины составляют 11 и 8 битовых интервалов соответственно.

Суммируя величины сокращений межкадрового интервала для наибольшего пути и сравнивая сумму с предельной величиной в 49 битовых интервалов (4,9 мкс), можно сделать вывод о работоспособности сети.

Рассмотрим данный расчет для сети на рис. 11.12. Берем в качестве начального сегмента 10BASE 2, для него $t_c = 16$, далее следуют промежуточные сегменты: 10BASE 5 - $t_c = 11$ и два сегмента 10BASE-FL - $t_c = 8 + 8 = 16$, $t_c = 16 + 11 + 16 = 43$, что меньше 49. Следовательно, и по этому показателю сеть работоспособна.

Для оценки работоспособности той или иной конфигурации можно использовать два подхода. Хотя для сложных топологий и предельно длинных сегментов лучше использовать второй подход, позволяющий количественно оценить временные характеристики сети. Для простых конфигураций можно

ограничиться первым подходом.

Физическая топология сети *Ethernet* стандарта 10 BaseT представляет собой «звезду» на основе витой пары, которая соединяет все узлы сети с концентратором, используя две пары проводов: одну для передачи, другую - для приема (рис. 11.12).

Логически (т.е. по системе передачи сигналов) данная архитектура представляет собой «шину», как и все архитектуры *Ethernet*. Концентратор выступает как многопортовый репитер. Длина сегмента от 2,5 до 100 м. ЛВС стандарта 10 BaseT может обслуживать до 1024 компьютеров.

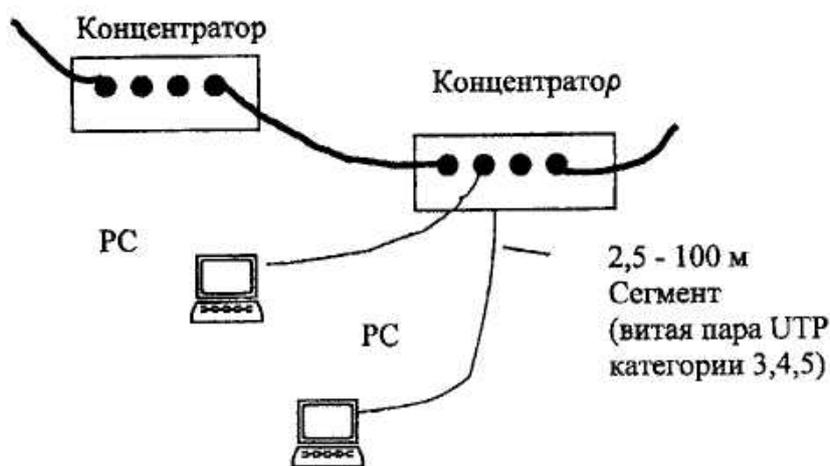


Рис. 11.12. Сеть стандарта 10BaseT

Достоинством является возможность использования распределительных стоек и панелей коммутации, что позволяет легко перекоммутировать сеть или добавить новый узел без остановки работы сети. Новейшие концентраторы позволяют расширять топологию сети, соединив отдельные концентраторы между собой магистралью на основе коаксиального или оптоволоконного кабеля, и получить топологию «звезда-шина».

11.7. Беспроводные сети

В условиях неразвитости телекоммуникаций или экономической нецелесообразности прокладки кабелей для обмена данными используются беспроводные информационно-телекоммуникационные сети. Трудность установки кабеля – фактор, который дает беспроводной сети неоспоримое преимущество. В зависимости от технологии беспроводные сети различают:

- локальные промышленные вычислительные сети;
- мобильные вычислительные сети.

Промежуточным этапом перехода от кабельных сетей к беспроводным является «точка-точка». Эта технология предусматривает обмен данными только между компьютерами, в отличие от взаимодействия и периферийными устройствами.

Чтобы организовать сеть с беспроводной передачей, необходимо в ее состав включить дополнительные компоненты, такие как:

- одиночные трансиверы;
- хост-трансиверы.

Их можно устанавливать как на автономный компьютер, так и на компьютерах, подключенных к сети.

Трансивер - это устройство для подключения компьютера к сети, т.е. устройство, осуществляющее прием и передачу сигналов. Термин образован от двух английских слов передатчик-приемник (*TRANSmitter-reCEIVER*).

Если в кабельных сетях трансивер в большинстве случаев встроен в сетевой адаптер, то в беспроводных сетях он обычно выполнен в виде отдельного устройства.

Основное отличие между различными типами беспроводных сетей - параметры передачи. Локальные сети и их расширения используют передатчики и приемники, принадлежащие той организации, в которой функционирует сеть. Для мобильных сетей на базе переносных компьютеров в качестве среды передачи выступают либо телефонные компании, либо держатели соответствующих каналов связи.

11.7.1. Передача «точка-точка»

Подобные системы позволяют передавать сигналы между двумя компьютерами или компьютером и другими устройствами, например, принтерами или сканерами штрих-кода (рис. 11.13).

Трансивер, называемый иногда точкой доступа (*access point*) обеспечивает обмен между компьютерами с беспроводным подключением и остальной сетью.

В беспроводных сетях используются небольшие настенные трансиверы. Они устанавливают радиокontakt между переносными устройствами. Такую сеть назвать полностью беспроводной нельзя именно из-за использования этих трансиверов.

Эта технология основана на последовательной передаче данных и обеспечивает:

- высокоскоростную и безошибочную передачу, применяя радиоканал типа «точка-точка»;
- проникновение сигнала через стены и перекрытия;
- скорость передачи от 1,2 до 38,4 Кбит/с на расстояние до 60 м внутри здания и 550 м в условиях прямой видимости.

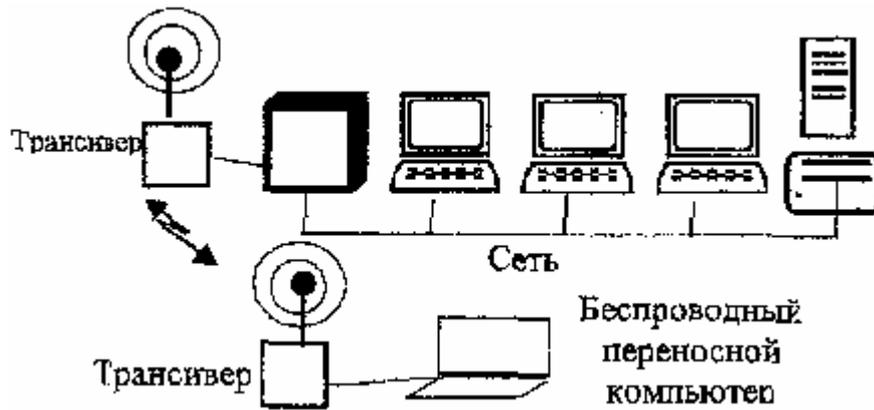


Рис. 11.13. Передача «точка-точка»

11.7.2. Беспроводные ЛВС

Типичная беспроводная сеть выглядит и функционирует практически так же, и обычная, за исключением среды передачи. Беспроводной сетевой адаптер установлен в каждом компьютере, и пользователи работают так, будто их компьютеры соединены кабелем (рис. 11.14).

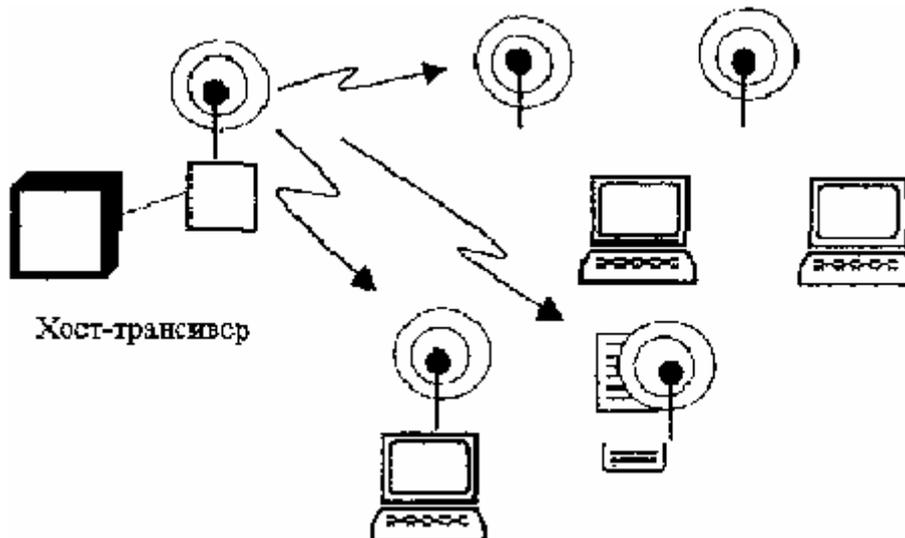


Рис. 11.14. Передача «точка-точка»

Беспроводные локальные сети используют следующие способы передачи данных:

- оптический (инфракрасное и лазерное излучение);
- радиоканал (одночастотная и в широком спектре).

11.7.3. Оптические беспроводные сети

Все инфракрасные беспроводные сети используют для передачи данных инфракрасные лучи. В подобных системах необходимо генерировать очень сильный сигнал, так как на него оказывают влияние другие источники, например, окна.

Этот способ обеспечивает большую скорость передачи, так как инфракрасный свет имеет широкий диапазон частот. Инфракрасные сети нормально функционируют на скорости 10 Мбит/с.

Различают следующие типы **инфракрасных** сетей:

- сети прямой видимости между приемником и передатчиком;
- сети на рассеянном излучении (сигнал отражается от стен и потолка и, в конце концов, достигает приемника; дальность до 30 м, скорость передачи велика, так как все сигналы отраженные);
- сети на отраженном излучении (оптические трансиверы компьютеров передают сигналы в определенное место, откуда они переадресуются другому компьютеру).

Широкополосные оптические сети предоставляют услуги, соответствующие жестким требованиям мультимедийной среды и практически не уступают кабельным системам.

Достоинства инфракрасных сетей:

- скорость;
- удобство использования.

Недостатки:

- трудности при передаче сигналов на расстояние более 30 м;
- подверженность помехам со стороны сильных источников света, которые есть в большинстве организаций.

Лазерная технология похожа на инфракрасную тем, что требует прямой видимости между приемником и передатчиком. Если по каким-либо причинам луч будет прерван, прервется и передача.

11.7.4. Беспроводные сети с радиопередачей данных

При **одночастотной** радиопередаче пользователя настраивают передатчики и приемники на определенную частоту. Этот способ похож на вещание обычной радиостанции. Прямая видимость необязательна; площадь вещания около 4,5 км².

Сигнал высокой частоты, используемый при этом методе, не проникает через металлические или железобетонные преграды.

Доступ к такому способу связи достигается через поставщика услуг (например, *Motorola*).

При радиопередаче в **рассеянном спектре** сигналы передаются в некоторой полосе частот. Доступные частоты разделены на каналы (или интервалы).

Адаптеры в течение определенного промежутка времени настроены на один интервал, после чего переключаются на другой интервал. Переключение всех компьютеров в сети происходит синхронно.

Есть сети, построенные по данной технологии, работающие со скоростью до 2 Мбит/с на расстоянии до 3,2 км на открытом пространстве и до 120 м - внутри здания.

Это тот случай, когда технология позволяет получить по-настоящему беспроводную сеть.

Если компьютеры оснастить сетевыми адаптерами *Xircom CreditCard Netware* и ОС *Windows 95* или *Windows NT*, то они могут без кабеля функционировать как одноранговые сети.

Если уже работает сеть на основе *Windows NT Server*, то к ней можно подключить сегмент беспроводной сети, если к одному из компьютеров добавить устройство *Netware Access Point* (рис. 11.15). Это устройство выполняет роль хост-трансивера.

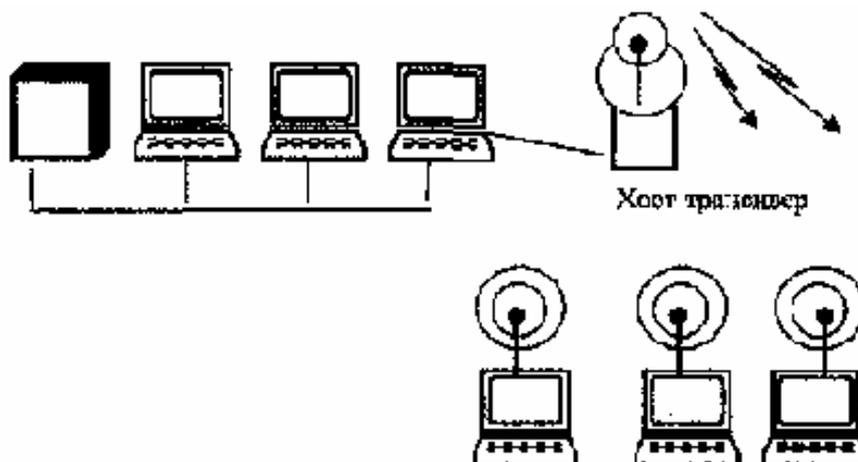


Рис. 11.15. Одноранговая сеть

11.7.5. Мобильные сети

В беспроводных мобильных сетях в качестве среды передачи выступают телефонные системы и общественные службы. Различают три основных способа организации таких сетей:

- пакетное радиосоединение;
- сотовые сети;
- микроволновые системы.

Работники, которые постоянно находятся в разъездах, могут воспользоваться мобильными сетями. Имея при себе переносной компьютер (наутбук или смартфон), они могут обмениваться электронной почтой, файлами и другой информацией как с центральным офисом, так и между собой.

Такая форма связи удобна, но пока довольно медленна. Скорость передачи от 8 до 34 Кбит/с. При включенной системе коррекции ошибок скорость становится еще меньше. Для подключения переносных компьютеров к основной сети применяют беспроводные адаптеры, использующие технологию сотовой связи. Небольшие антенны переносных компьютеров связывают их с радиотрансляторами.

При **пакетном радиосоединении** данные разбиваются на пакеты (подобные сетевым пакетам), в которых содержится информация:

- адрес источника;
- адрес приемника;
- информация для коррекции ошибок.

Пакеты передаются на спутник, который их транслирует в широкоэмитальном режиме. Затем устройства с соответствующим адресом принимают эти пакеты.

Микроволновая система включает в себя следующие компоненты:

- два радиотрансивера - один для генерации сигналов, другой для приема;
- двух направленных систем.

Они нацелены друг на друга, чтобы осуществлять прием сигналов, передаваемых трансиверами, и работают в зоне прямой видимости либо между собой, либо через спутник.

Микроволновая технология - наиболее распространенный в США способ передачи данных на большие расстояния. Она позволяет организовать взаимодействия между зданиями в небольших компактных системах, например, университетских городках.

Сотовые цифровые пакеты данных используют ту же технологию, что и сотовые телефоны стандарта *GSM*. Они передают данные по существующим для передачи речи сетям в те моменты, когда эти сети не заняты. Это очень быстрая технология связи с задержкой в доли секунды, что делает ее вполне приемлемой для передачи в реальном масштабе времени.

11.7.6. Система беспроводной связи *GPRS* – развитие стандарта *GSM*

GPRS (*General Packet Radio Service* – услуга пакетной передачи данных по радиоканалу) – по сути, расширение существующих сетей *GSM* [10]. Система *GPRS* (джи-пи-ар-эс) обеспечивает мобильных пользователей высокой скоростью передачи данных и максимально приспособлена для прерывистого трафика, характерного для сетей Интернет/интранет. Скорость доступа от 14,4 кбит/с (при использовании одного временного слота) до 115 кбит/с (при объединении нескольких слотов).

Система *GPRS* реализует пакетную коммутацию на всем протяжении канала связи, существенно оптимизируя услуги передачи данных в сетях стандарта *GSM*. Она практически мгновенно устанавливает соединения, ис-

пользует сетевые ресурсы и занимает участок диапазона частот только в моменты фактической передачи данных, что гарантирует чрезвычайно эффективное использование доступной полосы частот и позволяет делить один радиоканал между несколькими пользователями. Пакеты данных передаются одновременно по многим каналам, что и определяет выигрыш в скорости. Однако голосовой трафик имеет безусловный приоритет, поэтому данные передаются в паузах речи и скорость их передачи определяется не только возможностями сетевого и абонентского оборудования, но и загрузкой сети. Система *GPRS* поддерживает все самые распространенные протоколы передачи данных в сети, в частности, Интернет протокол *IP*, что позволяет абонентам сети подключаться к любому источнику информации. Новая система предполагает также иную схему оплаты услуги передачи данных: при использовании *GPRS* расчёты производятся пропорционально объёму переданной информации, а не времени, проведённому в сети.

GPRS позволяет без дополнительных устройств реализовать соединение, например, через интерфейсы *TCP/IP* или *X.25* с существующими системами передачи данных, обеспечивая поддержку самых разнообразных приложений: от низкоскоростной системы обмена сообщениями до работы с высокоскоростной корпоративной ЛВС. Кроме того, *GPRS* предоставляет услугу многоточечной передачи (мультивещания) между провайдером определённой сети и группой мобильных абонентов с терминалами *GPRS*.

Система *GPRS* строится путём простого добавления новых узлов пакетной обработки данных и модернизации существующих для маршрутизации пакетов данных от мобильного терминала до шлюза, который обеспечивает соединение с внешней сетью пакетной передачи данных для реализации доступа к Интернет/интранет или, например, к базам данных.

Ядро системы *GPRS* (*GPRS Core Network*) состоит из двух типов основных блоков (рис. 11.16): *SGSN* (*Serving GPRS Support Node* – узел поддержки *GPRS*) и *GGSN* (*Gateway GPRS Support Node* – шлюз *GPRS*).

SGSN контролирует доставку пакетов данных пользователям, взаимодействует с реестром собственных абонентов, проверяя, разрешены ли запрашиваемые ими услуги, ведёт мониторинг находящихся в сети пользователей, организует регистрацию абонентов, вновь проявившихся в зоне действия сети, и т.п. *GGSN* – это шлюз между магистралью *GPRS* и внешними информационными магистралями (Интернет, корпоративными интранет сетями, другими *GPRS* системами и т.д.). Основной задачей *GGSN* является роуминг (маршрутизация) данных, идущих к абоненту и от него через *SGSN*. Другими функциями *GGSN* являются адресация данных, динамическая выдача *IP* адресов, а также отслеживание информации о внешних сетях и собственных абонентах (в том числе тарификация услуг).

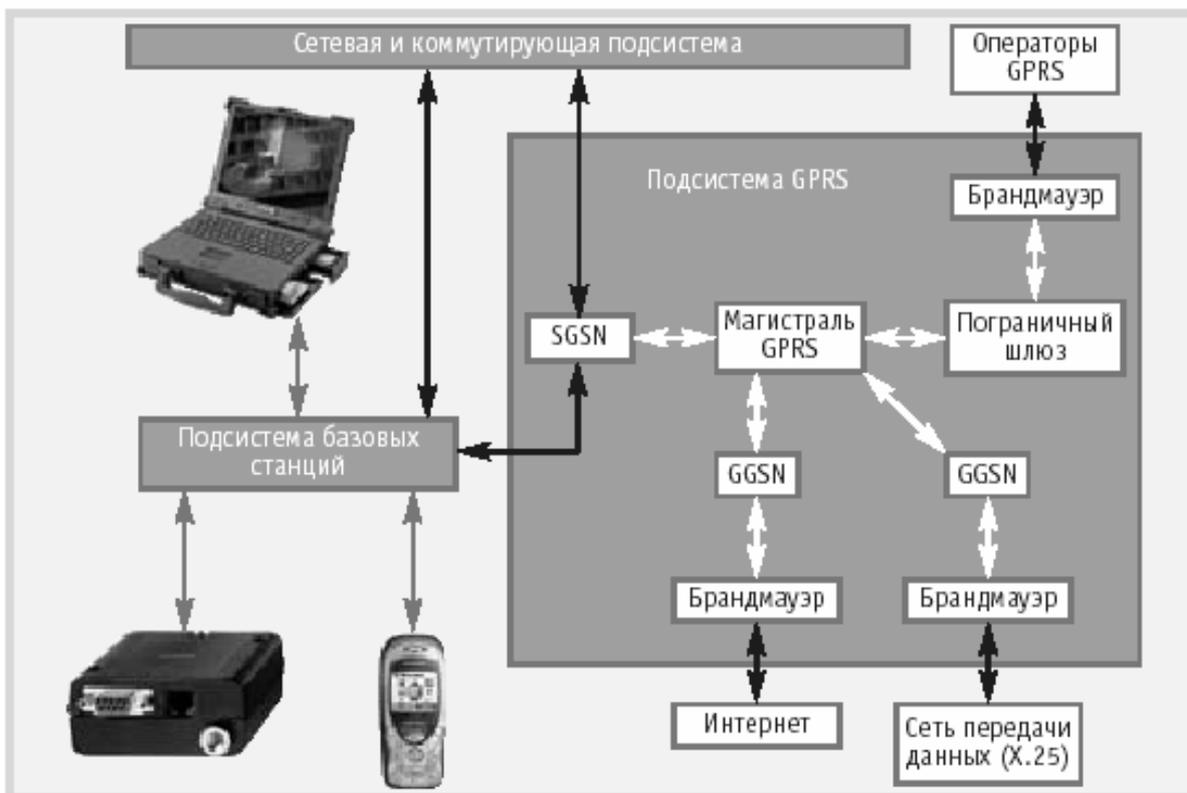


Рис. 11.16. Структура системы *GPRS*

В *GPRS* систему заложена хорошая масштабируемость: при появлении новых абонентов оператор может увеличивать число *SGSN*, а при увеличении суммарного трафика – добавлять в систему новые *GGSN*. Внутри ядра *GPRS* системы (между *SGSN* и *GGSN*) данные передаются с помощью специального туннельного протокола *GTP* (*GPRS Tunneling Protocol*).

Прежде чем приступить к работе с *GPRS*, мобильная станция должна за регистрироваться в системе. За регистрацию пользователей отвечает *SGSN*. В случае успешного прохождения всех процедур абоненту выдается временный номер мобильного абонента для пакетной передачи данных.

Для быстрой маршрутизации информации *GPRS* система нуждается в данных о месторасположении абонента относительно сети, причём с большей точностью, нежели в случае передачи голосового трафика. Чтобы оптимизировать работу системы в зависимости от местонахождения абонента, применяют деление терминалов на три класса.

- *IDLE* (неработающий). Терминал отключен или находится вне зоны действия сети. Система не отслеживает перемещение подобных абонентов.
- *STANDBY* (режим ожидания). Аппарат зарегистрирован в *GPRS* системе, но уже долгое время (определяемое специальным таймером) не работает на передачу данных. Место положение *STANDBY* абонентов известно с точностью до *RA* (*Routing Area* – область маршрутизации); *RA* крупнее, чем сота, и состоит из нескольких элементарных ячеек.

- *READY* (готовность). Абонентский терминал зарегистрирован в системе и находится в активной работе. Координаты абонентов, находящихся в режиме *READY*, известны системе (а точнее, *SGSN*) с точностью до соты.

Согласно этой идеологии, терминалы, находящиеся в *STANDBY* режиме, при переходе из одной *RA* в другую посылают *SGSN* специальный сигнал о смене области маршрутизации. Если новая и старая *RA* контролируются одним *SGSN*, то смена *RA* приводит лишь к корректировке записи в *SGSN*. Если же абонент переходит в зону действия нового *SGSN*, то новый *SGSN* запрашивает у старого информацию о пользователе, а сетевая и коммутирующая подсистема, а также вовлеченные в работу *GGSN* ставятся в известность о смене *SGSN*.

Следует отметить такой важный параметр, как *QoS* (*Quality of Service* – качество сервиса). В *GPRS* существует несколько классов *QoS*, подразделяющихся по следующим признакам:

- необходимому приоритету (высокий, средний и низкий);
- надёжности (установлены три класса надёжности в зависимости от количества возможных ошибок разного рода, потерянных пакетов и т.п.);
- задержкам (задержки информации вне *GPRS* сети не учитываются);
- количественным характеристикам (пиковое и среднее значение скорости).

Класс *QoS* выбирается индивидуально для каждого нового сеанса передачи данных. Кроме *QoS*, в характеристику сессии передачи данных входят тип протокола (*Packet Data Protocol type* – *PDP type*), *PDP* адрес, выданный мобильной станции, а также адрес *GGSN*, с которым идет работа. Профиль сессии (*PDP context*) записывается в абонентский терминал, а также в обслуживающие его *SGSN* и *GGSN*. Одновременно может поддерживаться несколько профилей передачи данных для каждого пользователя.

Пакетная передача данных предусматривает два вида соединений:

- *PTP* (*Point-to-Point*) – «точка-точка»;
- *PTM* (*Point-to-Multipoint*) – «точка-многоточие».

Широковещательный режим с соединением *PTM*, в свою очередь, подразделяется на два подрежима:

- *PTMM* (*PTM-Multicast*) – информация передаётся всем пользователям, находящимся в определённой географической зоне;
- *PTMG* (*PTM Group Call*) – данные направляются определённой группе пользователей.

Абонентские устройства. Для работы с системой пакетной передачи данных необходимо иметь специальный телефон, совместимый с *GPRS*, или соответствующий модем.

GPRS терминалы подразделяются на три класса:

- Класс А: терминалы способны одновременно работать как с передачей голоса, так и с передачей данных (они обладают возможностью функ-

ционировать как в режиме коммутации каналов, так и в режиме коммутации пакетов.

- Класс В: терминалы могут осуществлять либо передачу голоса, либо передачу данных.

- Класс С: терминалы поддерживают только передачу данных и не могут быть использованы для голосовой связи.

Максимальная скорость передачи данных определяется, в первую очередь, количеством каналов, с которыми одновременно может работать абонентский терминал. Один канал обеспечивает передачу данных со скоростью до 14,4 кбит/с.

Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует внедрение промышленных телекоммуникационных сетей в автоматизацию технологических процессов и производств?
2. Перечислите основные характеристики цифровых промышленных сетей.
3. Нарисуйте топологии промышленных сетей.
4. Назовите известные вам наиболее популярные промышленные сетевые решения.
5. Охарактеризуйте *AS*-интерфейс.
6. Поясните протокол *CAN*.
7. Дайте пояснение протоколу *Interbus*.
8. Охарактеризуйте сети *PROFIBUS*.
9. Поясните сети *Ethernet*.
10. Дайте характеристику сети *Foundation Fieldbus*.
11. Нарисуйте возможные конфигурации сети *Ethernet*.
- 12. Как определить работоспособность сети выбранной конфигурации?**
13. Дайте классификацию беспроводных сетей.
14. Охарактеризуйте мобильные сети.
15. Дайте пояснения системе беспроводной связи *GPRS*.

12. ВЗРЫВО- И ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) предприятий энергетики, применяющих в технологических процессах взрывоопасные вещества, работают на объектах, где определенные участки производства характеризуются либо постоянным наличием взрывоопасной среды, либо существует потенциальная опасность появления такой среды в случае аварий или отклонений от нормального течения технологического процесса. Выбор высоконадежных и экономичных технических решений, обеспечивающих защиту предприятия от возможных возгораний и взрывов, является одной из первоочередных задач при проектировании АСУТП [8, 11].

12.1. Классификация взрыво-и пожароопасных зон

12.1.1. Основные понятия

В промышленности очень часто возникают условия, при которых существует непосредственная возможность возникновения пожара или взрыва. Для защиты, как оборудования, так и обслуживающего персонала должны быть приняты меры предосторожности, создающие условия, при которых во взрывоопасных средах вероятность возникновения взрыва сводится к нулю.

Государственные и международные стандарты и правила безопасности устанавливают эти способы и подробно определяют, каким образом следует разрабатывать и применять различное оборудование.

С химической точки зрения, окисление, горение и взрыв являются экзотермическими реакциями, происходящими с различными скоростями. Для осуществления таких реакций необходимо одновременное присутствие следующих трех компонентов:

- топливо – легковоспламеняющиеся пары, жидкости или газы, горючая пыль, горючая смесь;
- окислитель – обычно воздух или кислород;
- энергия воспламенения – электрическая или тепловая.

В зависимости от того, каким образом происходит реакция, результатом может быть горение, волна огня или взрыв. Все методы защиты направлены на исключение одного или более компонентов для того, чтобы уменьшить риск возникновения взрыва до приемлемого уровня. В корректно спроектированной системе, как правило, допускается, что должны возникнуть две или более независимые неисправности, каждая с небольшой вероятностью, для того чтобы возможный взрыв произошел.

Риск воспламенения взрывоопасной смеси для кислородосодержащей атмосферы зависит от вероятности одновременного наличия следующих двух условий:

- образование легковоспламеняющихся или взрывоопасных паров, жидкостей или газов, горючей пыли в атмосфере или скопление огнеопасных или взрывчатых веществ;

- наличие источника энергии: электрической искры, электрической дуги или температуры, достаточной для воспламенения, т.е. того, что способно воспламенить опасную смесь.

Экспериментальным путем для многих распространенных взрывоопасных смесей построены так называемые характеристики воспламенения. Характеристики для водорода и пропана приведены на рис. 12.1. Для каждого топлива существует минимальная энергия поджигания (МЭП), которая соответствует идеальной пропорции топлива и воздуха, в которой смесь легче всего воспламеняется. Ниже МЭП поджигание невозможно при любой концентрации.

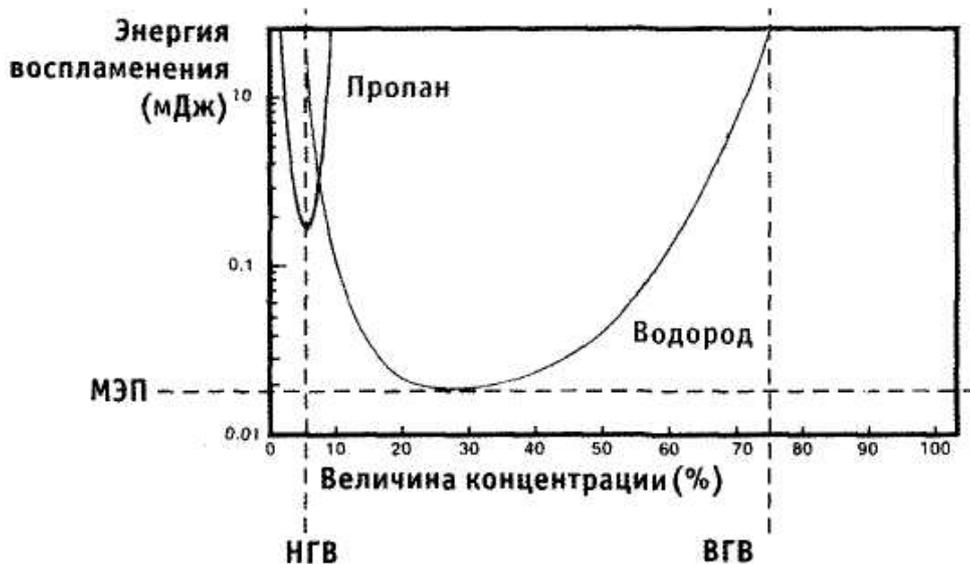


Рис. 12.1. Характеристики воспламенения для водорода и пропана

Для концентрации ниже, чем величина, соответствующая МЭП, количество энергии, требующейся для воспламенения смеси, увеличивается до тех пор, пока значение концентрации не станет меньше значения, при котором смесь не может воспламениться из-за малого количества топлива. Эта величина называется нижней границей взрыва (НГВ). Аналогичным образом при увеличении концентрации количество необходимой для воспламенения энергии растет, пока концентрация не превысит значения, при котором воспламенение не может произойти из-за недостаточного количества окислителя. Это значение называется верхней границей взрыва (ВГВ).

В качестве примера в табл. 12.1 приводятся характеристики для водорода и пропана.

Характеристики МЭП, НГВ, ВГВ для водорода и пропана

	МЭП	НГВ	ВГВ
Водород	20 мкДж	4 %	75 %
Пропан	180 мкДж	2 %	9,5 %

НГВ является более важной и существенной величиной, с практической точки зрения, чем ВГВ, потому что она устанавливает в процентном отношении минимальное количество топлива, необходимого для образования взрывоопасной смеси. Эта информация важна при классификации опасных зон.

МЭП (минимальная энергия, требуемая для поджигания смеси воздуха и топлива при наиболее благоприятной концентрации) является фактором, на котором основан такой вид взрывозащиты, как искробезопасная электрическая цепь. В этом случае энергия, освобождаемая электрической цепью, даже при аварийных условиях ограничивается до более низкого значения, чем МЭП.

12.1.2. Классификация взрывоопасных смесей

Стандарт МЭК 79-1 А, 79-4, (ГОСТ 12.1.011-78) устанавливает классификацию взрывоопасных смесей по категориям и группам, которая важна при выборе взрывозащищенного электрооборудования.

Взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на категории взрывоопасности в зависимости от величины безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ – максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не происходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе) и значения соотношения между минимальным током воспламенения испытываемого газа или пара и минимальным током воспламенения метана (МТВ); во-вторых, на группы в зависимости от величины температуры самовоспламенения.

Взрывоопасные смеси газов и паров с воздухом подразделяются на следующие категории:

I – метан на подземных горных работах,

II – другие газы и пары за исключением метана на подземных горных работах.

В зависимости от значений БЭМЗ газы и пары категории II подразделяются согласно табл. 12.2.

Таблица 12.2

Подразделение газов и паров категории II в зависимости от значений БЭМЗ

Категория взрывоопасности смесей	Величина БЭМЗ, мм
IIA	0,9 и более;
IIB	Выше 0,5, но менее 0,9;
IIC	0,5 и менее

В зависимости от значений МТВ газы и пары категории II подразделяются согласно табл. 12.3.

Таблица 12.3

Подразделение газов и паров категории II в зависимости от значения МТВ

Категория взрывоопасности смесей	Величина МТВ
IIA	Более 0,8
IIB	От 0,4 до 0,8 включительно
IIC	Менее 0,45

Для классификации большинства газов и паров достаточно применения одного из указанных критериев.

В зависимости от величины температуры самовоспламенения взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на группы согласно табл. 12.4.

Таблица 12.4

Подразделение смесей газов и паров в зависимости от температуры самовоспламенения

Группы взрывоопасных смесей	Температура самовоспламенения, °С
T1	Выше 450
T2	От 300 до 450 включительно
T3	От 200 до 300
T4	От 135 до 200
T5	От 100 до 135
T6	От 85 до 100

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам приведено в табл. 12.5.

Распределение наиболее распространенных взрывоопасных смесей по категориям и группам

Категория взрывоопасности и группа взрывоопасных смесей	T1	T2	T3	T4	T5	T6
IIA	Ацетон Этан Этил хлористый Аммиак Бензол Кислота уксусная Метан Метанол Метил хлористый Пропан Толуол	Этил Амилацетат Бутан Бутилены	Бензин Дизельное топливо Гексан Гептан Диметилсульфид-дегид Нефть сырая	Альдегиды: изомасляный, масляный, ацеталь, Паральдегид		
IIВ	Коксовый газ Синильная кислота	Окись этилена Этилен	Изопропанилацетилен			
IIС	Водород			Сероуглерод		

В табл. 12.6 сравниваются обозначения категорий взрывоопасных смесей в соответствии со стандартом МЭК 79-12 и классификации в соответствии с Государственной кодировкой, принятой в США. Большинство государственных стандартов используют обозначения категорий взрывоопасных смесей в соответствии с МЭК, где II обозначает наземные условия, а I – опасность, обусловленную метаном на подземных горных работах. Сравнение в таблице является приблизительным: например, американская Категория C примерно соответствует перечню веществ для категории IIВ стандарта МЭК.

Сравнение классификаций взрывоопасных газов и паров (приблизительно)

МЭК 79-12	Классификация, принятая в США		Типичные газы и пары
IIA	D	Class I	Этан, пропан, бутан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, уксусная кислота
IIB	C		Коксовый газ, синильная кислота
IIC	B A		Водород Ацетилен

12.1.3. Взрыво-и пожароопасные зоны

Технологические процессы с возможной опасностью возникновения взрыва или пожара требуют определения заводских опасных зон с возможным наличием огнеопасных смесей. Согласно «Правилам устройств электроустановок» взрывоопасная зона – это помещение или ограниченное пространство в помещении и наружной обстановке, в которых имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси. В этих зонах для обеспечения безопасной эксплуатации электрооборудования и электротехнических установок должны применяться соответствующие виды взрывозащиты [11].

Критерии для классификации зон базируются на вероятности и продолжительности присутствия огнеопасных смесей, а также концентрации и типе огнеопасных веществ (газ, пар, жидкость, пыль) в совокупности с такими физическими параметрами, как температура вспышки, температура самовоспламенения и минимальная электрическая энергия поджигания.

Международная Электротехническая Комиссия (МЭК, МЭК 79-10 *Classification of Hazardous Areas*) и Европейское сообщество (*Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC, EN 60079-10 Classification of Hazardous Areas*) рассматривают в своих стандартах три основных вида взрывоопасных зон размещения оборудования (в России согласно «Правилам устройства электроустановок» взрывоопасные зоны подразделяются на классы [1]).

- Зоны 0 (зоны класса В-I) – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и обладающие такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси **при нормальных режимах** работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т.д.;

- Зоны 1 (зоны класса В-Ia) – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов

(независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны **только в результате аварий** или неисправностей;

- Зоны 2 (зоны класса В-Іб, зоны класса В-Іг) – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (в зависимости от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны **только в результате аварий** или неисправностей.

Стандартом *EN 1127-1 «Machine safety/fire and explosion protection» Part 1: Explosion protection* для смесей воздуха с мелкодисперсионными твердыми горючими веществами установлены следующие взрывоопасные зоны:

- Зоны 20 – зоны, расположенные в помещениях, в которых длительный срок, часто или постоянно присутствует взрывоопасная газообразная атмосфера в форме облака пыли и в которых пыль может накапливаться и образовывать слой неопределимой или чрезмерной толщины. Отдельные отложения пыли не образуют Зону 20;

- Зоны 21 (зоны класса В-ІІ) – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и обладающие такими свойствами, что они способны образовать взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов);

- Зоны 22 (зоны класса В-ІІа) – зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для зон класса В-ІІ, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей (рис. 12.2). Естественно, что Зона 0 (зоны класса В-І) представляет собой более высокую степень опасности, чем Зона 1 (зоны класса В-Іа) и соответственно Зона 2 (зоны класса В-Іб, Іг).

Участки с опасностью ниже, чем в Зоне 2, считаются неопасными, поэтому здесь могут быть применены обыкновенные правила по установке и эксплуатации электрооборудования.

Во взрывоопасных зонах классов В-ІІ и В-ІІа рекомендуется применять электрооборудование, специально предназначенное для работы во взрывоопасных смесях горючих волокон или пыли с воздухом. Допускается применять во взрывоопасных зонах класса В-ІІ взрывозащищённое электрооборудование, предназначенное для работы в средах с газопаровоздушными смесями, а в зонах класса В-ІІа – электрооборудование общего назначения (без средств взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли (ГОСТ 14254-80 «Изделия электротехнические оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний»).

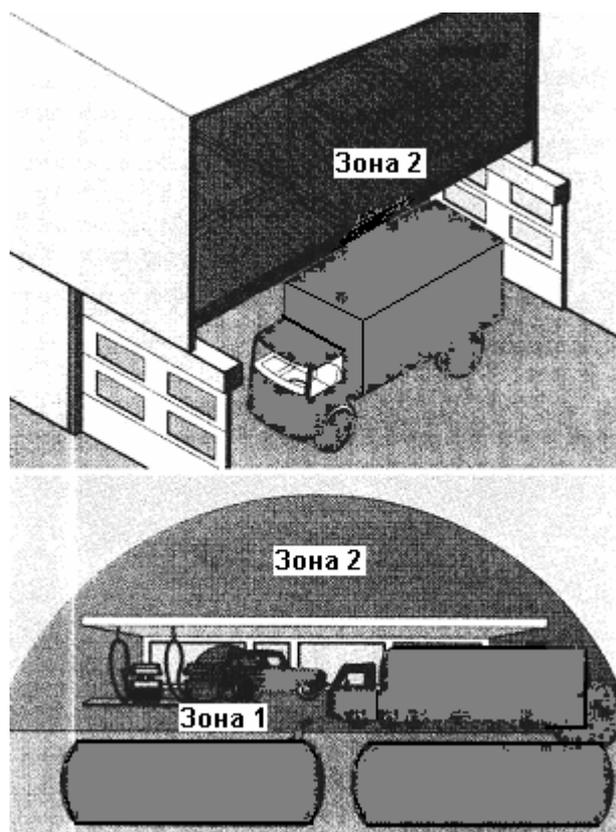


Рис. 12.2. Зоны, подверженные опасности в результате воспламенения газов, паров или смесей

В Соединенных Штатах Америки правомочной организацией по классификации взрывоопасных зон является Государственная ассоциация пожарной охраны (*National Fire Protection Association – NFPA*). *NFPA* отвечает за соблюдение Государственных электротехнических норм (*National Electrical Code*).

12.2. Основные виды взрывозащиты

По ГОСТ 12.2.020-76 «Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка» маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна содержать знак *Ex*, указывающий, что электрооборудование соответствует указанному стандарту и стандартам на виды взрывозащиты; знаки видов взрывозащиты также регламентированы стандартом:

- d* – взрывонепроницаемая оболочка;
- p* – заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением;
- o* – масляное заполнение оболочки;
- q* – кварцевое заполнение оболочки;
- ia, ib, ic* – искробезопасная электрическая цепь (ИБЦ);
- e* – защита вида «e» (повышенная надежность);
- s* – специальный вид взрывозащиты.

Виды взрывозащиты *Ex p*, *Ex s*, *Ex q*, *Ex o* применяются преимущественно для производственного оборудования и электротехнических устройств в сочетании с другими видами взрывозащиты.

12.2.1. Взрывонепроницаемая оболочка (*Ex d*)

Данный вид основан на том, что электротехническое оборудование помещается в прочную оболочку, способную выдержать внутренний взрыв без деформирования, а плоская фланцевая крышка или крышка с резьбовыми отверстиями по контуру с тщательно регулируемыми воздушными зазорами обеспечивают волне, образованной во время вспышки, выход во внешнюю атмосферу.

Тщательно регулируемый воздушный зазор гасит волны выхлопных газов. Совместное действие двух процессов: распространение газов с высокой скоростью и теплообмен со стенами щелей оболочки – приводит в результате к потере энергии выхлопных газов до уровня, при котором становится невозможным воспламенение огнеопасной смеси во внешней окружающей среде.

Это возможно, только если оболочка имеет специальные газоотводящие отверстия или щели имеют достаточно малые размеры (рис. 12.3).

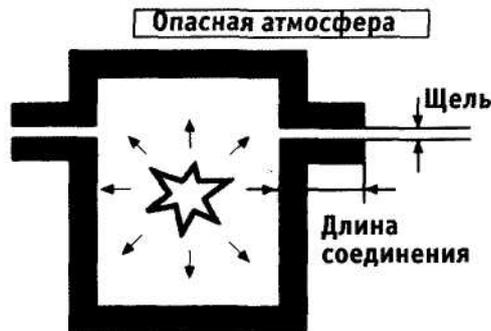


Рис. 12.3. Взрывонепроницаемая оболочка

В зависимости от природы взрывоопасной смеси и ширины прилегающих поверхностей, допускаются различные максимальные зазоры между ними.

Все электрические подключения по этому виду взрывозащиты проходят через прочные взрывонепроницаемые стальные трубы или кабельные трубопроводы и тщательно герметизированы в местах ввода в оболочку.

Классификация оболочек основывается на категориях взрывоопасности смесей и максимальной величины температуры самовоспламенения, которая должна быть ниже, чем температура возгорания смеси, присутствующей в месте, где они установлены.

В качестве материала для изготовления оболочки обычно используется металл (алюминий, катаная сталь и т.д.). Пластмасса и неметаллические материалы могут быть использованы для оболочек с маленьким внутренним

объемом (меньше 3 дм³).

Недостатки защиты типа «взрывонепроницаемая оболочка»:

- оболочки, особенно крупногабаритные, весьма тяжелы, и их установка создает механические и строительные сложности;
- коррозионная или влажная атмосфера (типичная для производственных предприятий) требует применения таких специальных (нержавеющая сталь, бронза) материалов, что существенно повышает стоимость оболочки;
- кабельные вводы требуют приспособлений для особого монтажа (обжатие, кабельные хомуты, металлические трубы, кабель в оболочке с наполнителем, изоляция), что обходится дорого;
- взрывонепроницаемая оболочка нуждается в периодических профилактических осмотрах;
- для проведения ремонтных работ, связанных с доступом внутрь оболочки, требуется прекращение технологического процесса, что приводит к удорожанию технического обслуживания;
- разборка оболочки требует высокой квалификации персонала, что связана с выполнением требований по максимально допустимому зазору, а также трудоемкостью удаления крышки (требуется специнструмент или необходимо отвернуть 30-40 болтов).

Степень безопасности взрывонепроницаемой оболочки зависит от правильного использования и текущего технического обслуживания, выполняемого заводским персоналом.

Описанный метод защиты является одним из наиболее широко используемых и пригоден для расположенного в опасных зонах электрооборудования с высокими уровнями мощности (моторы, трансформаторы, лампы, коммутаторы, соленоиды, пускатели и другие устройства, которые производят искры), а также соединительных коробок, осветительных электроустановок, коммутационной аппаратуры.

12.2.2. Повышение давления ($E_x p$)

Метод повышенного давления основывается на идее отделения окружающей атмосферы от электрического оборудования. Этот метод не позволяет опасной смеси воздуха и газа пройти через оболочку, содержащую электрические части, которые могут производить искры или иметь опасные температуры. Защитный газ (воздух или инертный газ), содержащийся внутри оболочки, находится под давлением, более высоким, чем давление внешней атмосферы (рис. 12.4).

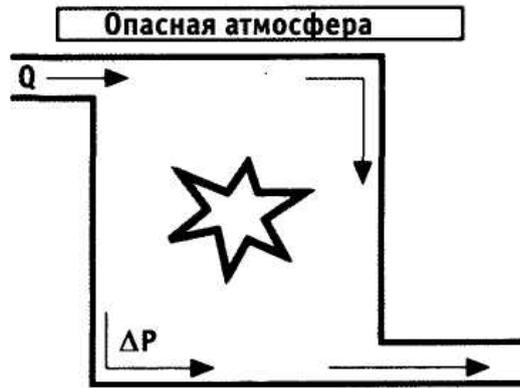


Рис. 12.4. Схема оболочки, находящейся под повышенным давлением

Внутренний перепад давления поддерживается постоянным, как в случае с постоянным потоком защитного газа, так и без него. Оболочка должна обладать определенной прочностью, однако особых механических требований не предъявляется, потому что поддерживаемая разность давлений не очень высокая.

Для поддержания разности давлений система подвода защитного газа должна быть способна компенсировать его потери вследствие утечек из оболочки или возникшие из-за доступа персонала.

Так как возможно, что опасная смесь может остаться внутри оболочки после того, как система повышения давления будет выключена, необходимо удалить оставшуюся смесь путем подачи определенного количества защитного газа перед перезапуском электрооборудования.

Классификация электрооборудования должна быть основана на максимальной, температуре внешней поверхности оболочки или поверхности внутренних деталей, которые имеют другой вид защиты и продолжают работать, даже когда подача защитного газа прекращается.

Метод повышенного давления не зависит от классификации газа. При нормальных условиях, когда в оболочке поддерживается выше, чем атмосферное, давление опасного внешнего газа, последний не вступает в контакт с электрическими деталями и горячими поверхностями внутри.

Европейский стандарт *CENELEC EN 50.016*, относящийся к этому методу, требует, чтобы отдельные системы безопасности функционировали, невзирая на потери внутреннего защитного газа из-за утечек, выключений, поломки компрессора или ошибок оператора.

Метод повышенного давления разрешен в качестве защиты в *Zone 1* и *Zone 2*. В случае потери давления автоматика либо немедленно отключает источник питания (для *Zone 1*), либо подает звуковой или световой сигнал (допускается для *Zone 2*).

Европейские и американские применения весьма схожи. Устройства безопасности (датчики давления, реле времени, расходомеры и т.д.), необходимые для активизации сигнала тревоги или выключения источника питания, должны быть выполнены с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая

оболочка» или «искробезопасная электрическая цепь», потому что, как правило, они находятся в соприкосновении с взрывоопасной смесью как за пределами оболочки, так и внутри оболочки во время стадии продувки или потери давления.

Иногда метод внутреннего повышенного давления является единственным возможным решением, то есть когда ни один из видов взрывозащиты не применим. Метод внутреннего повышения давления является единственным решением, например, в случае, когда электротехнические устройства имеют большие габариты или панели управления, где габаритные размеры и высокие уровни энергии делают невозможным использование взрывонепроницаемой оболочки или применение метода ограничения энергии.

Использование метода повышенного давления ограничено защитой электрооборудования, которое не содержит источника легковоспламеняющейся смеси. Для таких электрических средств автоматизации, как газоанализаторы, должен применяться метод непрерывного разжижения. При этом защитный газ, воздух или инертный газ всегда сохраняется в таком количестве, что концентрация легковоспламеняющейся смеси никогда не превышает нижнего предела, установленного для конкретного взрывоопасного газа.

12.2.3. Погружение в масло (Ex o)

В соответствии с этим методом защиты (рис. 12.5) все электрические элементы погружаются в любое невоспламеняющееся или слабовоспламеняющееся масло, которое предотвращает соприкосновение электрических элементов с атмосферой. Масло одновременно служит также смазочно-охлаждающей эмульсией (см. *UL 698* или МЭК 79-6).



Рис. 12.5. Метод защиты погружением в масло

Наиболее часто этот метод применяется для неподвижного электрооборудования, например, для трансформаторов.

Метод погружения в масло непригоден для контрольно-измерительного оборудования или для электрооборудования, которое требует частого технического обслуживания или осмотра.

12.2.4. Заполнением порошком (*Ex q*)

Этот метод защиты подобен методу защиты погружением в масло, за исключением того, что разделение электрооборудования и взрывоопасной атмосферы осуществляется заполнением оболочки порошкообразным материалом таким образом, чтобы электрическая дуга, генерируемая внутри оболочки, не вызвала воспламенения опасной атмосферы (рис. 12.6).

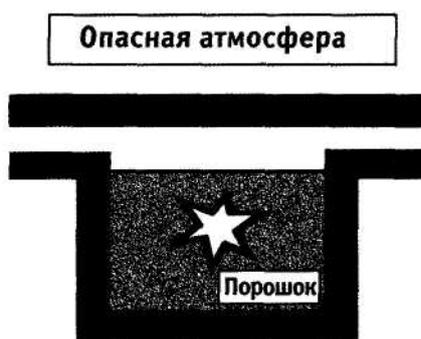


Рис. 12.6. Метод защиты заполнением порошком

Заполнение должно быть выполнено таким образом, чтобы предотвратить образование пустот в массе. В качестве заполнителя применяется кварцевый песок по ГОСТ 22782.2-77, и его зернистость должна соответствовать стандарту.

12.2.5. Защита вида «*Ex e*» (повышенная надежность)

«*Ex e*» – это способ, заключающийся в том, что в электрооборудовании или его части, не имеющих нормально искрящихся частей, принят ряд мер дополнительно к общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг, которые способны воспламенить взрывоопасные смеси.

Так, например, чтобы взрывозащищённое электрооборудование с видом взрывозащиты «Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением», изготавливаемое по ГОСТ 22782.4-78, могло соответствовать уровню «Повышенная надёжность против взрыва», достаточно в электрооборудовании предусмотреть блокировку, отключающую его от всех электрических цепей при падении давления в оболочке ниже допустимого.

Этот вид взрывозащиты преимущественно применяется для электротехнических соединительных коробок, осветительного электрооборудования, а также в безыскровых электрических моторах (например, в асинхронных двигателях типа «белочье колесо» или синхронных шаговых и бесколлекторных двигателях).

12.2.6. Искробезопасная электрическая цепь (*Ex i*)

Ex i основан на принципе ограничения предельной энергии, накапливаемой или выделяемой электрической цепью в аварийном режиме, или рассеивания мощности до уровня значительно ниже минимальной энергии или температуры воспламенения в предписанных соответствующими стандартами условиях [16]. К таким стандартам относятся ГОСТ 22782.5-78 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь», международные стандарты *IEC 79-3 Spark Test Apparatus for Intrinsically Safe Circuits*, *IEC 79-11 Construction and Test of Intrinsically Safe and Associated Apparatus*.

Допустимые уровни энергии в искробезопасной электрической цепи определяются от 20 до 180 мкДж (максимальное напряжение разомкнутой электрической цепи 30 В, значение тока короткого замыкания 100 мА, допустимая мощность 0,45 Вт).

Существуют три уровня взрывозащиты *Ex i*:

Ex ia – особовзрывобезопасный,

Ex ib – взрывобезопасный,

Ex ic – повышенная надежность против взрыва.

Ex ia предполагает сохранение условий безопасности даже в случае одновременных и независимых повреждений, поэтому этот уровень взрывозащиты обеспечивает наибольшую безопасность и применим для Зоны 0, Зоны 1 и Зоны 2.

Ex ib допускает только одно повреждение и поэтому применим только для Зоны 1 и Зоны 2.

Североамериканский стандарт является равнозначным Европейскому стандарту *EN 50.020* для уровня взрывозащиты «*ia*». Эти стандарты идентичны в части сертификации электрооборудования по отношению к существующей опасности: газ, пыль и температура воспламенения – и в части характеристик искробезопасности для омической, индуктивной и емкостной цепей. Различия лежат в обозначениях групп, в градациях величин температур самовоспламенения и в назначении коэффициентов искробезопасности.

Типовая электрическая цепь содержит источник напряжения U , сопротивление R , индуктивность L , емкость C и переключатель S , соединенные, как показано на рис. 12.7. Для анализа электрической цепи на искробезопасность необходимо рассматривать реактивные элементы цепи (индуктивности и емкости), которые способны накапливать и отдавать энергию. Когда переключатель, расположенный в опасной зоне, разомкнут, конденсатор накапливает электрическую энергию, которая выделяется при замыкании переключателя, образуя электрическую искру. Таким же образом при замкнутом переключателе индуктивность накапливает магнитную энергию, которая выделяется в виде электрической дуги при размыкании переключателя. Значение энергии, выделяемой электрической цепью, должно быть ниже минимальной энергии поджигания газовой воздушной смеси, присутствующей в опасной зоне.

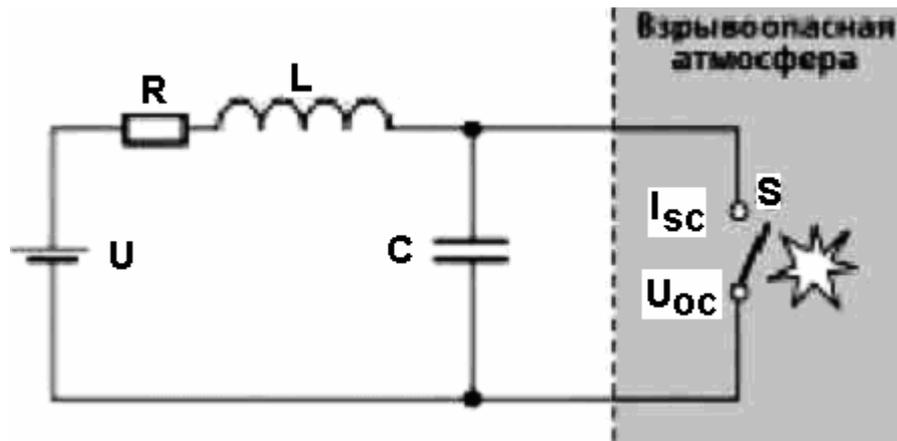


Рис. 12.7. Электрическая схема типовой искробезопасной цепи

Теоретическое определение точного значения энергии, накопленной в электрической цепи, не всегда возможно, особенно если вырабатываемая источником энергия выше энергии, накопленной реактивными элементами. По этой причине характеристики искробезопасных электрических цепей представляются в виде соотношения между электрическими параметрами цепи, напряжением, током и минимальной энергией поджигания опасной атмосферы.

Электрическая цепь любой сложности может быть последовательно рассмотрена как омическая, индуктивная и емкостная. Если критерии безопасности отвечают различным типам цепей, то исходная цепь может считаться искробезопасной.

Определение воспламеняющего тока для индуктивной, омической или емкостной цепи производится с помощью установок для контрольных испытаний электрических цепей на искробезопасность согласно ГОСТ 22782.578 «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь». Стандарт полностью соответствует документам МЭК 79-3 (1972 г.) и 79-11 (1976 г.) в части основных технических требований и методов испытаний. Характеристики искробезопасности строятся в прямоугольной системе координат с логарифмическим масштабом.

Ограничение энергии искробезопасных электрических цепей производится, в основном, искробезопасными электрическими цепями связанного электрооборудования (блоками искрозащиты на стабилитронах – БИС, другое наименование – барьеры безопасности на шунтирующих диодах Зенера), которые при нормальном или аварийном режиме работы не отделены гальванически от искробезопасной цепи (ИБЦ).

В большинстве случаев связанное электрооборудование размещается в безопасной зоне и защищено в местах установки искробезопасными электрическими цепями. Это оборудование ограничивает максимальное напряжение и ток, протекающий через искробезопасные электрические цепи даже в случае аварии. Защита может быть выполнена с применением БИС или гальванически изолированных средств сопряжения – развязывающих устройств

(преобразователей сигналов с универсальным входом, повторителей аналоговых сигналов, формирователей аналоговых выходных сигналов, устройств управления интеллектуальных электропневматических преобразователей, повторителей состояний переключателей и др.). В БИС применяются защищенные плавкими предохранителями стабилитроны для ограничения максимального напряжения шунтированием аварийного тока на землю. Последовательно с предохранителями включены ограничительные резисторы, лимитирующие ток до максимально допустимого для искробезопасных цепей значения.

Вид защиты *Ex i* требует отдельной точки заземления с низким значением сопротивления (изопотенциальная земля безопасности), с которой должны сопрягаться все защитные цепи.

Почти все стандарты по установке электрооборудования требуют, чтобы суммарное значение сопротивления от наиболее удаленного БИС до центральной шины аварийной защиты не превышало 1 Ом. Это позволяет ограничивать кратковременные перенапряжения в искробезопасных электрических цепях, вызванные аварийными бросками тока в контуре сопротивления заземления.

Особенность такого изопотенциального заземления – соединение с землёй должно выполняться в одной точке. Требуется надежная изоляция от земли всех прочих искробезопасных электрических цепей, чтобы препятствовать образованию опасных и неконтролируемых утечек контурных токов заземления во взрывоопасные участки.

Барьер искрозащиты на стабилитронах (БИС) представляет собой удовлетворяющий требованиям стандарта ГОСТ Р 51330.10-99 (МЭК 60079-11-99) узел законченной конструкции, который может изготавливаться в виде отдельного устройства или части искробезопасного и связанного электрооборудования.

Обычно БИС выполнен как единый неразборный блок, залитый компаундом или помещённый в неразборную оболочку, что исключает возможность ремонта или замены элементов его внутреннего монтажа.

БИС состоит из шунтирующих стабилитронов и последовательно включённых резисторов или резисторов и предохранителей (рис. 12.8).

В нормальном режиме работы электрооборудования напряжение пробоя стабилитронов не превышает – стабилитрон не проводит ток. При возникновении аварии во вторичной части измерительной системы, расположенной в безопасной зоне, и при превышении внешним напряжением значения напряжения пробоя стабилитрона (рабочей областью стабилитронов является участок на обратной ветви вольт-амперной характеристики) он переходит в режим стабилизации уровня напряжения при изменении величины протекающего через него тока. Стабилитрон начинает проводить ток. Последовательно включённый резистор ограничивает ток в цепи взрывоопасной зоны. При достижении током определённого значения срабатывает встроенный предохранитель *F1*, что предотвращает передачу недопустимо большой

электрической мощности из безопасной зоны в электрические цепи оборудования, расположенного во взрывоопасной зоне.

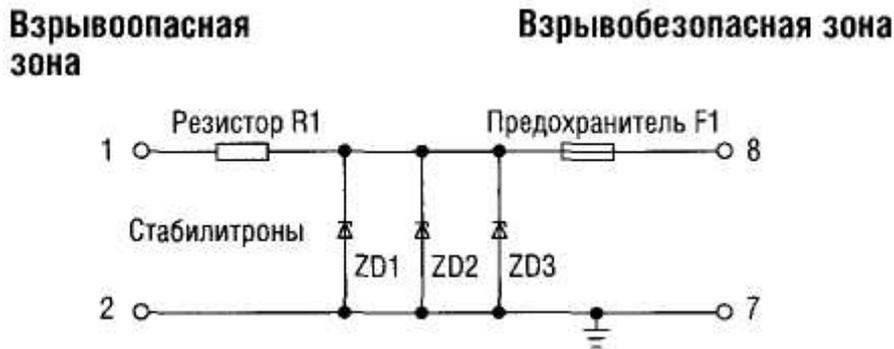


Рис. 12.8. Электрическая схема барьера искрозащиты на стабилитронах

Таким образом, обеспечивается искробезопасный ток (напряжение, мощность или энергия) в электрической цепи, при котором не может произойти воспламенение во взрывоопасной зоне, и в то же время сохраняются нормальные условия для прохождения через барьер электрических сигналов без их шунтирования.

Точки 7 и 8 подключаются к электрооборудованию, установленному вне взрывоопасной зоны. Это оборудование не должно содержать источников энергии с напряжением выше 250 В относительно земли. К точкам 1 и 2 допускается подключение только взрывозащищённого электрооборудования с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь», предназначенного для установки в конкретных классах взрывоопасных зон, имеющего сертификат соответствия, свидетельство о взрывозащищённости и разрешение Госгортехнадзора РФ на применение во взрывоопасных зонах.

БИС разработаны с учётом использования в большинстве задач, связанных с обеспечением искробезопасности цепей систем автоматизации и управления во взрывоопасных средах. Поэтому они могут применяться для подключения и двухпроводных датчиков, и электропневматических преобразователей, и электромагнитных клапанов, и других традиционных устройств систем автоматизации. Допускается подключение и так называемого **простого** электрооборудования – электрических элементов или комбинаций элементов, имеющих простую конструкцию с точно определёнными электрическими параметрами, совместимыми с допустимыми параметрами для искробезопасной цепи, к которой они подключаются. К простому электрооборудованию относят:

- а) пассивные элементы, например выключатели, потенциометры и резисторы;
- б) накапливающие энергию устройства, имеющие точно известные параметры, например конденсаторы или катушки индуктивности;
- в) источники энергии, например термопары и фотоэлементы, в которых

значения генерируемого напряжения, тока или мощности не превышают соответственно 1,5 В, 100 мА и 25 Вт.

Необходимо отметить, что простое электрооборудование должно соответствовать всем требованиям ГОСТ Р 51330.10-99 (МЭК 60079-11-99) «Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь i ».

БИС идентифицируется по показателям напряжения, сопротивления и полярности, например «10 В, 50 Ом, положительная полярность». Первые два показателя соответствуют напряжению стабилизации стабилитрона, или максимальному выходному напряжению (U_z), и суммарному сопротивлению всех компонентов барьера (последовательное сопротивление). Значение I_k (максимальный выходной ток) получается делением U_z на сопротивление $R1$, которое в основном определяет величину последовательного сопротивления барьера. В идентификационных маркировочных табличках на конкретные барьеры приводятся значения U_z и I_k для наихудшего случая, полученные при сертификационных испытаниях. Следует подчеркнуть, что это экстремальные значения показателей, которые не соответствуют рабочему диапазону БИС.

Рис. 12.9 поясняет принцип работы БИС. Ток утечки через стабилитроны составляет 10 мкА при условии, что напряжение питания менее 25,5 В. Такой ток является допустимым по величине и не оказывает большого влияния на нагрузку (рис. 12.9, а). В случае если напряжение превышает 25,5 В (максимально допустимое значение входного напряжения), стабилитроны начинают проводить ток, который существенно превышает ток утечки и, протекая через стабилитроны, не достигает цепей нагрузки во взрывоопасной зоне (рис. 12.9, б). Поэтому рекомендуется применять источник с управляемым напряжением, который поддерживает значение напряжения ниже значения, при котором стабилитроны начинают проводить ток.

Заземление систем искрозащиты. В простейших случаях для решения задач обеспечения искрозащиты применяются одноканальные БИС, подключенные к системе заземления с помощью специально предназначенных для этого соединительных устройств. В качестве таких устройств используется контакт на монтажном основании корпуса барьера, обеспечивающий подключение внутренней электрической цепи БИС к защитному заземлению при установке барьера на *DIN*-рейку, а также по крайней мере одно соединительное устройство (интегрированная клемма) для подключения к заземлению изолированным проводом с площадью поперечного сечения не менее 4 мм².

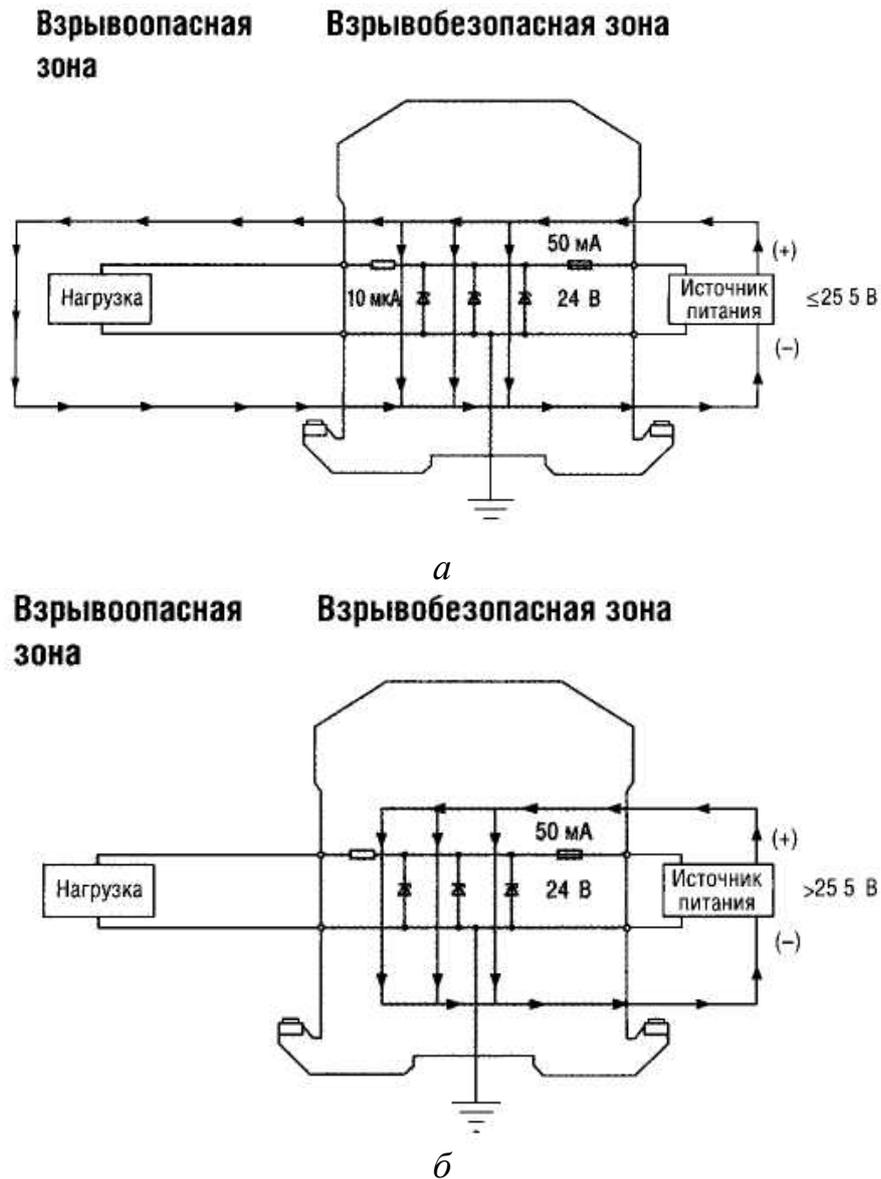


Рис. 12.9. Принцип работы БИС:

- а)* напряжение питания не превышает допустимый максимум;
- б)* напряжение питания превысило допустимый максимум

Если БИС не соединен с контуром заземления, то при аварийном режиме возможно возникновение искрового разряда во взрывоопасной зоне (рис. 12.10) Если же БИС заземлен, то в аварийном режиме при возникновении потенциала, превышающего допустимый, стабилитроны переходят в рабочий режим (участок пробоя обратной ветви вольт-амперной характеристики), и протекающий через них ток отводится по контуру заземления (рис. 12.11).

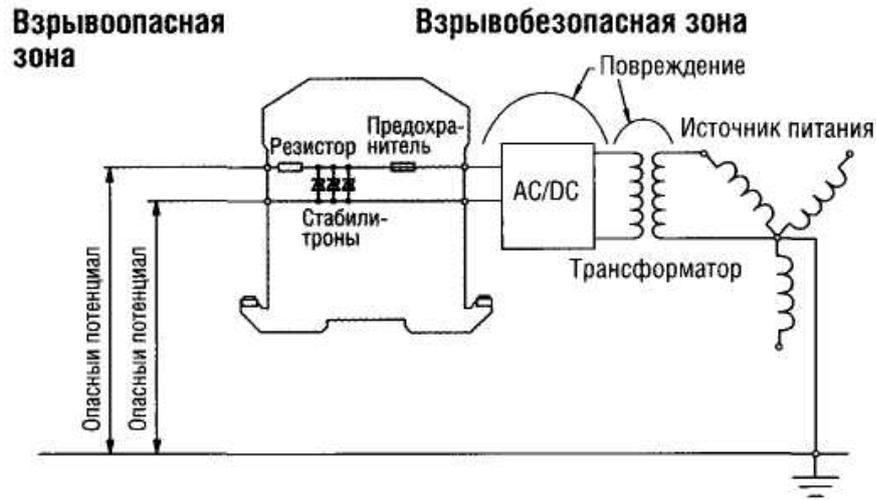


Рис. 12.10. БИС, не соединённый с контуром заземления

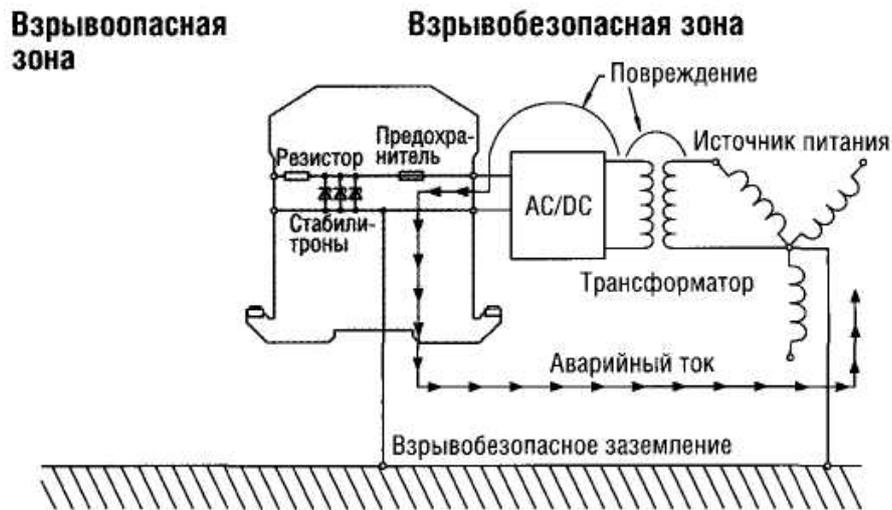


Рис. 12.11. БИС, соединённый с контуром заземления

Необходимо запомнить, что БИС могут применяться только в том случае, если они заземлены через эквипотенциальную систему заземления (электрическое соединение, обеспечивающее для различных проводящих участков и прочих сторонних проводящих частей практически равный электрический потенциал), изолированную от точек заземления силовых установок и надёжно присоединённую к единственной точке заземления. Если эквипотенциальная система заземления не может быть организована, то БИС не могут быть применены.

Часто аналоговые электроцепи подключаются через двухканальные БИС. Пример применения двухканального БИС показан на рис. 12.12. Так как в этом случае подключение датчика выполнено без соединения с контуром заземления, то полученная в результате система может считаться плавающей. Подобные решения на базе многоканальных БИС способствуют улучшению соотношения сигнал/шум при передаче сигнала, а дополнитель-

ным преимуществом их применения является более компактное размещение аппаратуры.

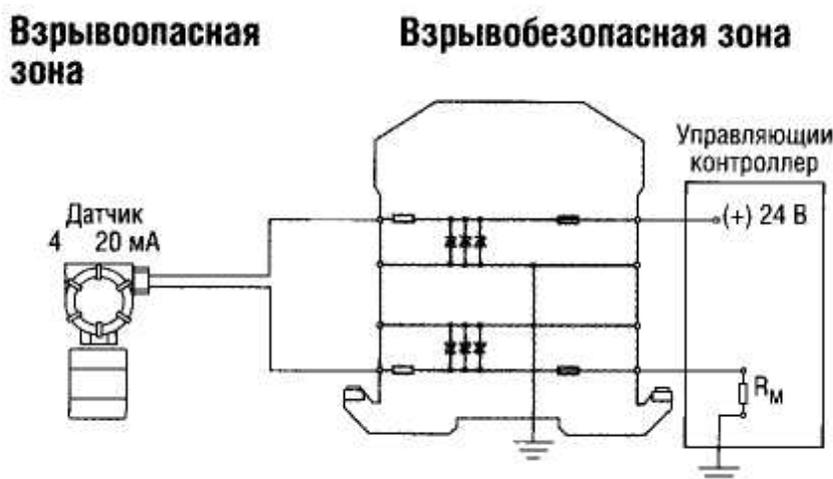


Рис. 12.12. Применение двухканального БИС с преобразователем унифицированного токового сигнала 4...20 мА

Развязывающие устройства, в дополнение к ограничивающим напряжением стабилитронам, обеспечивают надежную электрическую изоляцию между искробезопасными электрическими цепями и неискробезопасными цепями посредством традиционных трансформаторов, оптопар, реле.

Обеспечение электроизоляции между двумя контурами в развязывающих устройствах не требует введения отдельной системы заземления для системы аварийной защиты и позволяет применять изолированные или заземленные искробезопасные цепи независимо.

12.2.7. Преимущества и ограничения видов взрывозащиты

Гибкость применения. Каждый вид взрывозащиты подразумевает применение для конкретных опасных участков или установок. Методы с высоким значением коэффициентов безопасности (например $Ex i$) применимы для участков с повышенной опасностью (например Зона 0 или Зона 1) и являются безопасными с запасом в зонах с пониженной опасностью, поэтому они считаются более гибкими.

Простые виды защиты от аварий заполнением применимы только для опасных участков с пониженной степенью риска и являются в меньшей степени гибкими, особенно если имеется многоцелевой периодический процесс или предвидится расширение/модификация производства с переклассификацией зон.

$Ex d$ допускает существенные количества электрической энергии в электрооборудовании и, следовательно, может быть широко применим, практически без ограничений мощности.

$Ex i$, напротив, допускает крайне низкие уровни энергии и, следовательно, применим только в контрольно-измерительной аппаратуре и оборудовании.

довании управления технологическими процессами с некоторым ограничением энергии. Однако полупроводниковая технология обеспечивает чрезвычайно высокую степень рабочих характеристик и вычислительных мощностей с минимальным значением потребляемой энергии.

Во всемирной практике уровень согласованности видов взрывозащиты к конкретной опасной зоне незначителен. Более высокая степень единообразия существует внутри Европейского сообщества и в странах, ориентирующихся на *CENELEC*.

Большинство развитых в промышленном отношении стран имеют собственные государственные регламентирующие организации и стандарты, официально устанавливающие виды взрывозащиты и их применимость в конкретных опасных зонах. В Европе такими признанными ведомствами являются *BASEEFA*, *SCS* (Великобритания), *BVS*, *DMT*, *PTB* (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, Германия), *CESI* (Италия), *DEMKO* (Дания), *INERIS*, *LCIE* (Франция), *ISSEP* (Бельгия), *KEMA* (Нидерланды), *LOM* (Испания). Аналогичное ведомство на Украине – *ИСЦ ВЭ* (Испытательный сертификационный центр взрывозащищенного и рудничного электрооборудования).

В соответствии с Межправительственными соглашениями о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации от 13.03.1992 г., о принципах проведения и взаимном признании работ по сертификации от 25.06.1992 г. и согласно установленному порядку признания результатов работ по сертификации от 20.10.1993 г., сертификаты *ИСЦ ВЭ* действительны для всех стран СНГ.

В США наиболее известными являются следующие испытательные центры: *UL* (*Underwriters Laboratories, Inc.*) *FMRC* (*Factory Mutual Research Corporation*), *AGA* (*American Gas Assoc. Laboratories*), *UST/CA* (*United States Testing Company, Inc./ California Division*) и др. в Канаде – это *CSA* (*Canadian Standards Association*), в Австралии – *QAS*, *LOCS*.

В России на базе Национального научного центра горного производства - Институт горного дела имени А.А. Скочинского (НИЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского) создан Центр по сертификации взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ЦС ВЭ ИГД), который является ведущим по вопросам сертификации для Министерства топлива и энергетики РФ.

ЦС ВЭ ИГД аккредитован Госстандартом России, Госгортехнадзором России, Главгосэнергонадзором России и Российским Морским Регистром Судоходства. Центр имеет опыт сертификации как отечественного, так и импортного взрывозащищенного электрооборудования и установил рабочие контакты со многими ведущими зарубежными испытательными центрами.

Сертификацией электрооборудования также занимается Испытательная лаборатория взрывозащищенных средств измерений, контроля и элементов автоматики (ИЛ ВСИ) ВНИИФТРИ.

Российские стандарты на конкретные виды взрывозащиты и их европейские аналоги, а также допустимые зоны применения каждого вида взры-

возащиты представлены в таблице 12.7.

Таблица 12.7

Стандарты на конкретные виды взрывозащиты и области применения

Маркировка	Вид взрывозащиты	Определение	Области применения
	Европейский стандарт (CENELEC)/ Международный стандарт (IEC)/Стандарт РФ		
Ex o	EN 50 .015/IEC 79-6/ ГОСТ 22782.1-77	Масляное заполнение оболочки. Оболочка заполняется маслом или жидким негорючим диэлектриком	Зона 1, Зона 2
<i>Ex p</i>	EN 50 .016/IEC 79-2/ ГОСТ 22782.4-78	Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением. Продувка осуществляется чистым воздухом или инертным газом	Зона 1, Зона 2
<i>Ex q</i>	EN 50 .017/IEC 79-5/ ГОСТ 22782.2-77	Кварцевое заполнение оболочки	Зона 1, Зона 2
<i>Ex d</i>	EN 50.018/IEC 79-1-71/ ГОСТ 22782.6-81	Взрывонепроницаемая оболочка. Оболочка, выдерживающая давление взрыва внутри неё и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую взрывоопасную среду	Зона 1, Зона 2
<i>Ex e</i>	EN 50 .019/IEC 79-7/ ГОСТ 22782.7-81	Защита вида «е». Вид взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства), заключающийся в том, что в электрооборудовании (или его части), не имеющем нормально искрящихся частей, принят ряд мер дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг	Зона 1, Зона 2
<i>Ex i</i>	EN 50 .020, EN 50.039/ IEC 79-3, IEC 79-11/ ГОСТ 22782.5-78	Искробезопасная электрическая цепь. Электрическая цепь, выполненная так, что электрический разряд или её нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания	Зона 1, Зона 2 Зона 0 – после проведения специальных испытаний
<i>Ex m</i>	EN 50 .028/IEC 79-18	Заполнение веществом (заполнителем) дополнительной оболочки, в которой размещено электрооборудование. Заполнитель не должен иметь трещин, пузырьков, отслаиваться, высыпаться, растрескиваться с течением времени и терять своих свойств во время эксплуатации. Этот вид приблизительно соответствует специальному виду взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства) <i>Ex s</i> ГОСТ 22782.3-77	Зона 1, Зона 2

Следует отметить, что ГОСТ 22782.0-81 «Электрооборудование взрывозащищенное. Общие технические требования и методы испытаний», устанавливающий технические требования и методы испытаний по обеспечению взрывозащиты, общие для электрооборудования со всеми видами взрывозащиты, аналогичен Европейскому стандарту *EN 50.014 General Requirements*.

ГОСТ 12.1.011-78 «Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний», устанавливающий классификацию взрывоопасных смесей по категориям и группам и методы определения параметров взрывоопасности, используемых при классификации смесей, полностью соответствует стандартам *IEC 79-1A Construction and Test of Flame-proof Enclosures of Electrical Apparatus*, *IEC 79-4 Method of Test for Ignition Temperature*.

ГОСТ 12.2.021-76 «Электрооборудование взрывозащищенное. Порядок согласования технической документации, проведения испытаний, выдачи заключений и свидетельств», устанавливающий порядок рассмотрения и согласования технической документации на взрывозащищенное электрооборудование, испытания электрооборудования на взрывозащищенность, оформления заключений и свидетельств, внесения изменений в согласованную документацию, соответствует требованиям *IEC 79-1*.

С 2001 года в России действуют Международные стандарты IEC.

12.2.8. Маркировка взрывозащищенного

электрооборудования

Маркировка по взрывозащите электрооборудования, выполненного в соответствии со стандартом ГОСТ 22782.6-81, должна отвечать ГОСТ 12.2.020-76. Стандарты МЭК, которые подобны рекомендациям *CENELEC* (Европейский Комитет по электротехнической стандартизации), предусматривают совпадающую с обозначениями *CENELEC* маркировку, за исключением того, что знак «Ex», принятый МЭК, *CENELEC* заменяет знаком «EEEx».

Пример:



В маркировке по взрывозащите электрооборудования категории II, предназначенного только для конкретной взрывоопасной смеси, после знака

II должна указываться в скобках химическая формула горючего вещества, образующего с воздухом такую смесь. В этом случае указывать температурный класс электрооборудования не требуется. Например, взрывобезопасное электрооборудование, предназначенное для применения только в водородно-воздушной или только аммиачно-воздушной взрывоопасной смеси, должно иметь следующие маркировки по взрывозащите:

Exd.II (H2) или *Exd.III (NH3)*.

12.3. Выбор безопасных средств измерения и автоматизации

12.3.1. Сравнение видов взрывозащиты

Каждый вид взрывозащиты обеспечивает безопасность в соответствующей опасной зоне в тех случаях, когда правильно выполнен и обслуживается, соответствует требованиям безопасности и признан безопасным.

Некоторые виды взрывозащиты, особенно в жестких условиях эксплуатации, являются критичными к нестабильности рабочих условий и требуют, помимо функционального технического обслуживания, немало забот по поддержанию изначальных характеристик надежности. Другие виды взрывозащиты в меньшей степени подвержены воздействию внешних факторов и поэтому требуют меньших эксплуатационных расходов по поддержанию уровня безопасности или почти не требуют технического обслуживания.

Розничная цена оборудования. Каждый вид взрывозащиты характеризуется различными видами основного оборудования и вспомогательного оборудования (если оно требуется) и, следовательно, разной стоимостью.

Ex e – по сути менее сложный вид взрывозащиты и в результате имеет невысокую стоимость, *Ex i* по стоимости занимает среднее положение, а *Ex d* вследствие использования громоздких прочных кожухов (оболочек) и механической подстройки их компонентов является дорогостоящим.

Стоимость монтажа. Сумма стоимости вспомогательного оборудования, затрат на монтаж и розничной цены оборудования является (помимо эксплуатационных и других расходов) более емким критерием, чем только розничная цена оборудования, способным помочь конечному пользователю принять решение о выборе защитного оборудования.

В этом отношении *Ex e* и *Ex i* характеризуются менее дорогостоящей установкой, чем вид *Ex d*.

Ex d становится более эффективным по стоимости при жестких условиях окружающей среды и необходимости капитальной механической защиты места монтажа оборудования и кабелей.

Сравнение видов взрывозащиты *Ex d* и *Ex i*. Производители контрольно-измерительного оборудования выпускают весьма сложную аппаратуру, управляемую маломощным оборудованием по интерфейсу типа токовая петля 4 – 20 мА. Идентичные маломощные (4 мА) схемные решения, используемые при проектировании искробезопасных электрических цепей, способ-

ствуют расширению области их применения, обеспечивая эффективную искробезопасность электрооборудования с низкой себестоимостью. Часто выбор между двумя наиболее распространёнными видами взрывозащиты *Ex d* и *Ex i* сводится к выбору между стоимостью устанавливаемых блоков искрозащиты на стабилитронах (БИС) или развязывающих устройств с обычной электропроводкой в месте установки и затратами на прокладку электрических проводов в кабелепроводах для реализации *Ex d*.

Кроме стоимости оборудования и затрат на монтаж, следует принимать во внимание эксплуатационные расходы. *Ex i* предполагает более быстрое, безопасное, менее дорогостоящее техническое обслуживание под напряжением.

Ex d менее устойчив к ошибкам обслуживающего персонала, а уровень безопасности со временем может снижаться, если не обеспечено постоянное обслуживание оборудования. Незакрепленные или частично закрепленные крышки, механически поврежденные фланцы или резьба крышек, корродированная резьба кабельных вводов, нарушение герметичности в точках вводов кабелей, плохое качество заземления оболочек и т.д. – все эти неисправности оборудования и любое неправильно смонтированное или отремонтированное оборудование в месте установки являются источниками потенциальной опасности, которая усиливается обманчивым ощущением безопасности.

Ex i на основе ограничения энергии делает любую электрическую цепь практически неспособной к воспламенению огнеопасной смеси даже в короткозамкнутом или разомкнутом состоянии под напряжением. Это значительно упрощает и ускоряет техническое обслуживание, снижая опасность ошибок обслуживающего персонала.

Особенности *Ex i* позволяют иметь единственную безопасную особую зону внутри шкафа с размещенными БИС, где должно быть обеспечено надежное разделение ИБЦ и неискробезопасных электроцепей. Естественно, что значительно проще контролировать ограниченное место в пределах шкафа, установленного, например, в диспетчерской, нежели обширную внешнюю зону размещения аппаратуры. Поэтому оправданно, что на европейских рынках 90% применений взрывобезопасных технологий контрольно-измерительного оборудования приходится на *Ex i*.

Электрические цепи могут быть защищены блоками искрозащиты на стабилитронах (БИС) или развязывающими устройствами. БИС защищают оборудование при условии законченности конструкции и низкого сопротивления подключения к специально организованной системе заземления (изопотенциальное заземление). Эффективность их использования также зависит от надежности изоляции искробезопасной электрической цепи от земли и обеспечения заземления цепи только в одной точке. Выполнение этих условий со временем или в процессе эксплуатации может нарушаться и поэтому должно периодически контролироваться.

Контроль электрических параметров цепей заземления требует их раз-

мыкания или приводит к шунтированию (например, при использовании измерительных приборов) и аннулированию защитных качеств барьера, поэтому такой контроль не может выполняться в условиях цепи, находящейся под напряжением. Такие условия и ограничения проведения технического обслуживания сходны с *Ex d*, но гораздо менее строгие.

Развязывающие устройства обеспечивают систему защиты, в гораздо меньшей степени подверженную влиянию качества и текущего состояния монтажа (отсутствуют требования к присоединению заземления или изоляции от земли для обеспечения безопасности). По этой причине не требуется осуществлять периодический контроль цепей заземления. Допускается осуществление технического обслуживания под напряжением в контролируемых цепях, что значительно сокращает время обслуживания и не требует соблюдения особых мер безопасности.

Изоляция входных и выходных цепей снимает проблему качественного заземления в распределенных системах управления и обеспечивает высокий уровень устойчивости к воздействию помех общего вида и кондуктивных помех с надёжной защитой объекта управления от аварийных импульсных напряжений.

Техническое обслуживание и анализ возможных опасностей *Ex d*. Оболочка, применяемая для *Ex d* в местах монтажа оборудования, содержит в себе детали, которые в нормальных условиях или при аварийных режимах создают искрение или нагреваются до высокой температуры, что может привести к внутренним взрывам. Конструктивная прочность оболочек препятствует распространению этих взрывов. Во время проведения технического обслуживания оборудования внутри кожуха *Ex d* электроэнергия должна быть отключена до вскрытия кожуха и не может быть включена до тех пор, пока кожух вновь не будет закрыт. Это требование безопасности обуславливает большие временные и технические затраты на обслуживание. Если оборудование размещено в оболочках среднего или большого размера, время и затраты существенно возрастают.

В крупногабаритных оболочках для крепления тяжелых плоских фланцевых крышек используется значительное количество болтов (иногда до 32 штук), чтобы обеспечить механическую прочность. Каждый раз, когда необходимо открывать и закрывать оболочку, приходится выполнять трудоемкие операции по монтажу и демонтажу тяжелой крышки. Обращаться с крышкой следует с осторожностью, чтобы избежать повреждений и сохранить сложный профиль этой детали из мягкого литого алюминия. Эта длительная процедура, а также необходимость проверки кабелепроводов и оболочек на предмет коррозии и механического коробления и пазования на фланцевых или резьбовых поверхностях определяют более высокую стоимость технического обслуживания *Ex d*.

Ex e также не дает возможности производить техническое обслуживание под напряжением, но лампы и моторы проверять гораздо проще, а оболочки в значительной степени проще открывать и закрывать, следовательно,

стоимость технического обслуживания является средней.

Электрооборудование с видом взрывозащиты *Ex i* (ИБЦ) не требует особенного содержания и технического ухода. Один раз в год следует проверять барьеры, чтобы удостовериться в надёжности соединений и системы заземления (значение сопротивления заземляющих устройств не должно превышать 1 Ом), а также в отсутствии влаги и грязи.

Ex i допускает проведение технического обслуживания под напряжением, что означает обслуживание оборудования, приведенного в действие, и наличие открытых оболочек. Это значительно сокращает трудоемкость и стоимость самого обслуживания, а также надзора и диагностики, однако требует строгого соблюдения ряда правил.

Однако, ни в коем случае нельзя проверять барьеры искробезопасности омметрами или какими-либо другими измерительными приборами при включённых в схему барьерах (рис. 12.13). При этом происходит шунтирование барьера, и схема перестает быть электробезопасной.



Рис. 12.13. Запрещенный вариант обслуживания БИС или развязывающего устройства, включенного в схему

Для проверки плавкого предохранителя необходимо выключить БИС из схемы и измерить его сквозное сопротивление. Если омметр фиксирует бесконечно большое сопротивление, плавкая вставка перегорела. Предохранитель, как правило, размыкается из-за аварии в цепи, поэтому перед установкой нового барьера необходимо проверить всю цепь. После определения причины перенапряжения и её устранения БИС заменяется в определенной последовательности. Процедура предписывает отключить электропроводку от БИС в следующем порядке: прежде всего, отключаются проводники от зажимов из взрывобезопасной зоны, затем – от зажимов из взрывоопасной зоны, а последними отключаются заземляющие проводники. Оголенные проводники защищаются изолирующей лентой, заменяется барьер, а потом восстанавливается электропроводка в обратной последовательности. Всегда первым монтируется заземление, а отключается оно в последнюю очередь.

Соблюдение этих правил позволяет избежать многих несчастных слу-

чаев, которые, к сожалению, происходят во время проведения технического обслуживания или надзора.

12.3.2. Выбор средств измерения и автоматизации для взрывоопасных зон

Электрические аппараты, приборы и другие средства автоматизации во всех случаях следует стремиться выносить за пределы взрывоопасных зон, если это допустимо по условиям эксплуатации и не влечет за собой неоправданных затрат.

В случае необходимости установка приборов, аппаратов и других средств автоматизации во взрывоопасных зонах должны быть выполнены требования, приведенные в «Правилах устройств электроустановок», а сами приборы и аппараты, вносимые по взрывоопасные зоны, должны удовлетворять требованиям действующих стандартов на изготовление взрывозащищенного электрооборудования.

Кроме того, взрывозащищенное электрооборудование, используемое в химически агрессивных, влажных или пыльных средах, должно быть также защищено от воздействия агрессивной среды, сырости, пыли, а взрывозащищенное электрооборудование, устанавливаемое в наружных установках, должно быть пригодно для работы на открытом воздухе или должно иметь защиту от атмосферных воздействий.

Во взрывоопасных зонах классов В-II и В-IIa рекомендуется применять электрооборудование, специально предназначенное для работы во взрывоопасных смесях горючих пылей или волокон с воздухом. Если такого электрооборудования нет, то во взрывоопасных зонах класса В-II допускается применять взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах с газопаровоздушными взрывоопасными смесями, а в зонах класса В-IIa – электрооборудование общего назначения (без средств взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли.

Применять взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для газопаровоздушных смесей и электрооборудование общего назначения с соответствующей степенью защиты оболочки во взрывоопасных зонах классов соответственно В-II и В-IIa, допускается при условии, что температура поверхности, на которую могут осесть горючие пыль или волокна (при работе электрооборудования с номинальной нагрузкой и без наслоения пыли), будет не менее чем на 50 °С ниже температуры тления пыли (для тлеющих пылей) или не более двух третей температуры самовоспламенения нетлеющих пылей.

В зонах, взрывоопасность которых определяется горючими жидкостями с температурой вспышки выше 61 °С, может применяться любое взрывозащищенное электрообо-

рудование для любых категорий и групп с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества. Сборки зажимов следует, как правило, выносить за пределы взрывоопасных зон.

Во взрывоопасных зонах классов В-Ia, В-Iг и В-IIa допускается применение коробок зажимов со степенью защиты *IP54*, а во взрывоопасной зоне класса В-Iб – коробок со степенью защиты *IP44*. При этом следует учитывать также, что коробки зажимов, устанавливаемые во взрывоопасных зонах с химически агрессивными, влажными, пыльными средами или в наружных установках, должны быть устойчивы в работе в условиях указанных окружающих сред.

Коммутационная и защитная аппаратура схем электропитания систем автоматизации (выключатели, предохранители и др.) должна устанавливаться вне взрывоопасных зон.

Во взрывоопасных зонах любого класса штепсельные соединения могут применяться при условии, если они удовлетворяют соответствующим требованиям.

Установка штепсельных соединений во взрывоопасных зонах классов В-I и В-II недопустима.

В зонах классов В-Iб и В-IIa допускается применять штепсельные соединения со степенью защиты *IP54* при условии, что разрыв цепи у них происходит внутри закрытых розеток. Установка этих штепсельных соединений допускается только для включения периодически работающих электроприемников (например, переносных) и расположены они должны быть в местах, где образование взрывоопасных смесей наименее вероятно; число штепсельных соединений должно быть ограничено необходимым минимумом. Искробезопасные цепи могут коммутироваться штепсельными разъемами общего назначения.

12.3.3. Выбор средств измерения и автоматизации

для пожароопасных зон

Электрические аппараты, приборы и другие средства автоматизации следует во всех случаях стремиться выносить за пределы пожароопасных зон, если это допустимо, по условиям эксплуатации и не влечет за собой неоправданных затрат.

При необходимости установки приборов, аппаратов и других средств автоматизации в пожароопасных зонах должны быть выполнены требования ПУЭ.

В пожароопасных зонах должны применяться приборы и аппараты, имеющие степень защиты по ГОСТ 14254–80 не менее указанной в табл. 12.8. В этой же таблице приведены степени защиты шкафов и сборок зажимов (коробок зажимов), допускаемых к применению в пожароопасных зонах.

Таблица 12.8.

Допустимая степень защиты оболочек приборов, аппаратов, шкафов, сборок зажимов, устанавливаемых в пожароопасных зонах различных классов

Вид установки и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIa	П-III
Стационарно установленные приборы и аппараты, искрящие по условиям работы	<i>IP44</i>	<i>IP54</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>
Стационарно установленные приборы и аппараты, не искрящие по условиям работы	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	<i>IP44</i>	<i>IP54*</i> , <i>IP44**</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>
Коробки сборок зажимов	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>	<i>IP44</i>

* При установке в шкафах аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы

** При установке в шкафах аппаратов и приборов, не искрящих по условиям работы

Аппараты и приборы, устанавливаемые в шкафах, разрешается применять с меньшей степенью защиты, чем указано в табл. 12.8 (вплоть до исполнения *IP00*), при условии, что шкафы будут иметь степень защиты не ниже указанной в таблице для соответствующих классов пожароопасных зон.

Допускается степень защиты оболочки от проникновения воды (вторая цифра обозначения) изменять в зависимости от условий среды, в которой устанавливаются приборы и аппараты

В пожароопасных зонах всех классов разрешается применять аппараты и приборы в маслonaполненном исполнении (кроме кислородных установок), а также приборы, аппараты, шкафы и сборки зажимов, продуваемые чистым воздухом под избыточным давлением.

Коммутационную и защитную аппаратуру схем электропитания установок автоматизации следует устанавливать вне пределов пожароопасных зон.

При выборе аппаратов и приборов для пожароопасных зон необходимо также учитывать условия окружающей среды (химическая активность, атмосферные осадки и т.п.).

12.4. Применение промышленных сетевых технологий

во взрывоопасных зонах

Часто автоматизируемые оконечные устройства располагаются во взрывоопасных зонах. Для решения вопросов их безопасного подключения к АСУТП используются различные средства взрывозащиты, среди которых наиболее эффективным и экономичным (от 15 до 50% экономии по сравнению с другими методами) является метод «искробезопасная электрическая цепь». Искробезопасное подключение отдельно взятого датчика или исполнительного механизма обеспечивают барьеры искробезопасности (рис. 12.14).

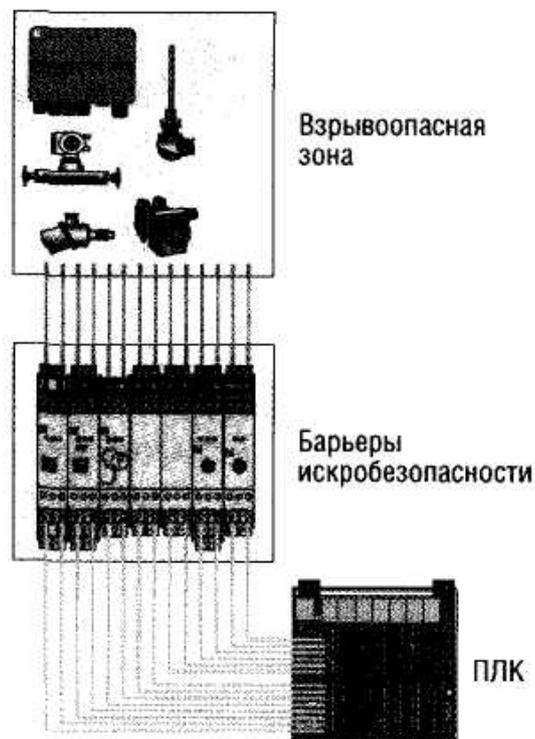


Рис. 12.14. Подключение оборудования взрывоопасной зоны через барьеры искрозащиты

Применение барьеров является широко распространенным решением и обладает рядом достоинств. Однако для АСУТП с большим количеством подключений оно становится слишком дорогим и громоздким. Для экономии кабельной продукции можно применить схему удаленного ввода-вывода, когда барьеры устанавливаются на объединительные платы по возможности ближе к оборудованию, а комплексирование объединительных плат с ПЛК осуществляется по последовательному интерфейсу *RS-485* или с использованием какой-либо промышленной сети. Шагом в этом направлении являются

схемы искробезопасного удаленного ввода-вывода [17], система *IS-RPI* фирмы *Pepperl + Fuchs*. При выборе этого решения разработчик может использовать многие из упомянутых ранее цифровых промышленных сетей, например *ModBus*, *ControlNet*, *PROFIBUS* и т.д. Но наиболее экономичными и гибкими, очевидно, являются схемы непосредственного внедрения промышленных сетей во взрывоопасные зоны 0 и 1. Правда, в этом случае выбор сетевых решений ограничивается теми сетями, которые реализуют стандарт физического уровня *IEC 61158-2*, то есть *PROFIBUS-PA* и *Foundation Fieldbus* (рис. 12.15).



Рис. 12.15. Подключение оборудования взрывоопасной зоны через систему удалённого ввода-вывода

Ранее расчет искробезопасности сетевых решений строился на основе модели, представляющей кабель сети в виде распределенных индуктивности, ёмкости и активных сопротивлений, которые подлежали учету наряду с аналогичными предельными характеристиками подключенных оконечных устройств. Далее, исходя из заявленных характеристик блока питания, определялся максимальный ток, а также максимальное число устройств, которое могло быть подключено к искробезопасному сегменту. Результаты применения этой модели приводили к очень жестким ограничениям и, как следствие, к высоким затратам.

Результатом новых исследований в области искробезопасных цепей явилась расчетная модель *FISCO* (*Fieldbus Intrinsically Safe Concept*), базирующаяся на следующих предположениях (рис. 12.16):

- один блок питания на сегмент с напряжением от 14 до 24 В;
- блок питания соответствует требованиям взрывозащиты *ia* или *ib* группы ПС и имеет трапецевидную или прямоугольную характеристику;
- все остальные узлы сегмента являются пассивными с током потребления не менее 10 мА;
- все узлы имеют малые значения внутренней индуктивности (< 10

мкГн) и ёмкость (<5 нФ), которыми можно пренебречь;

- характеристики кабеля не выходят за установленные границы ($R=15\dots 150$ Ом/км, $L=0,4\dots 1$ мГн/км, $C = 80\dots 200$ нФ/км, включая экран);
- в кабель терминирован на обоих концах ($R = 90\dots 100$ Ом, $C = 2,2$ нФ);
- длина магистрали не более 1000 м;
- длина каждого кабельного отвода не более 30 м.

Проведенное национальным физико-техническим институтом ФРГ тестирование показало, что при соблюдении указанных условий роль распределенных индуктивности и ёмкости кабеля может не учитываться. Таким образом, любой сегмент сети, собранный из сертифицированных в соответствии с концепцией *FISCO* изделий, может рассматриваться как чисто резистивная схема и рассчитываться по соответствующим оценочным кривым. Результат – 10 устройств на сегмент вместо 4 по используемой ранее модели – означает прорыв в экономической эффективности применения промышленной сети на взрывоопасных производствах. Модель *FISCO* одобрена как ассоциацией пользователей *PROFIBUS*, так и консорциумом *Foundation Fieldbus*, и рассматривается МЭК в качестве проекта международного стандарта.

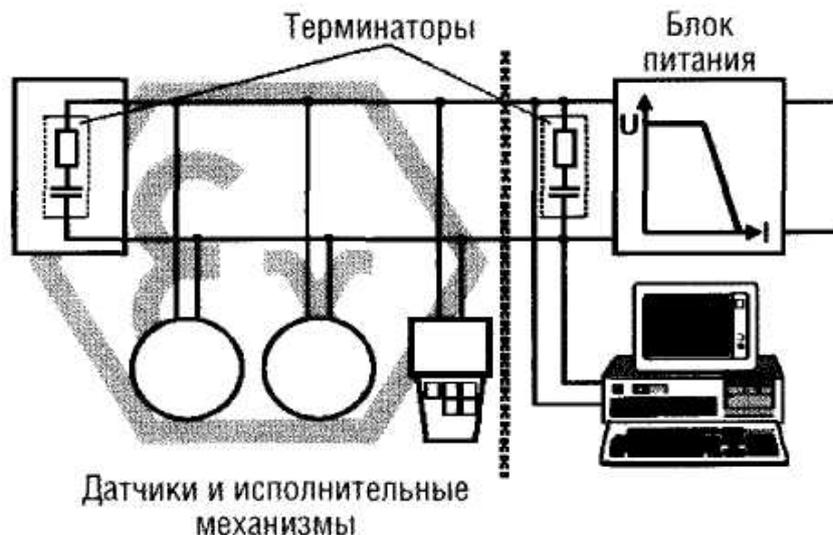


Рис. 12.16. Подключение оборудования взрывоопасной зоны по модели

Искробезопасные сегменты цифровых промышленных сетей подключаются к основной сети через сегментные соединители (*Segment Coupler*), обеспечивающие конверсию протоколов физического уровня, гальваническую развязку между обоими сегментами и ограничение мощности, получаемой сегментом сети взрывоопасной зоны. Сегментные соединители устанавливаются в безопасной зоне (как правило, в электротехнических шкафах) и требуют внешнего питания 24 В. Для *master*-узла, также находящегося в безопасной зоне, информационный обмен с устройствами, подключенными через сегментный соединитель, абсолютно прозрачен, что обеспечивает

единство всей системы автоматизации.

Нетрудно видеть, что даже применение модели *FISCO* ещё не обеспечивает минимизацию накладных расходов на развертывание промышленной сети во взрывоопасных зонах. Разница между 10 узлами на сегмент, разрешенными по *FISCO*, и 32 узлами, допускаемыми стандартами *PROFIBUS* и *Foundation Fieldbus*, достаточно ощутима, чтобы не останавливаться на достигнутом. Фирма *Pepperl+Fuchs* в рамках новой серии *FieldLink* выпустила изделие *F2D0-FB-Ex4.IEC*, представляющее собой нечто вроде «интеллектуальной» распределительной коробки для искробезопасных сегментов сетей *PROFIBUS* и *Foundation Fieldbus* и позволяющее полностью преодолеть указанные ограничения. Устройство имеет степень защиты *IP66* и сертификат *EEx te*, т.е., может устанавливаться в опасных зонах класса 2 и 1. Структура сегмента в этом случае будет иметь следующие особенности:

- сегментный соединитель (искробезопасное исполнение не обязательно!), располагающийся в безопасной зоне;
- магистральный кабель, объединяющий сегментный соединитель и (каскадно) несколько устройств *F2D0* (соединение должно отвечать требованиям *EEx e*);
- кабельные отводы – до 4 на каждое устройство *F2D0* – имеют длину до 120 метров, характеристики выходов соответствуют *FISCO*, потребляемый ток по каждому отводу до 40 мА;
- до 3 конечных устройств на каждый отвод.

Нетрудно видеть, что применение *F2D0* дает огромную экономию. Прежде всего, можно применять более дешевые сегментные соединители и источники питания (без контуров искрозащиты). Более чем в три раза увеличивается количество конечных устройств, подключаемых к одному сегменту. *F2D0* заменяют монтажно-распределительные коробки, что также уменьшает накладные расходы. Гальваническая изоляция кабельных отводов снимает необходимость уравнивания потенциалов земли между взрывоопасной и безопасной зонами, обеспечивая значительную экономию средств.

Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует внедрение взрыво- и пожаробезопасных технологий в автоматизацию технологических процессов и производств?
2. Дайте классификацию взрыво-и пожароопасных зон.
3. Дайте классификация взрывоопасных смесей.
4. Перечислите основные виды взрывозащиты.
5. Охарактеризуйте вид взрывозащиты «Взрывонепроницаемая оболочка (*Ex d*)».
6. Дайте характеристику виду взрывозащиты «Повышение давления (*Ex p*)».
7. Поясните вид взрывозащиты «Погружение в масло (*Ex o*)».

8. Охарактеризуйте вид взрывозащиты «Заполнением порошком (*Ex q*)».
9. Дайте характеристику виду взрывозащиты «Повышенная надежность».
10. Поясните вид взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь (*Ex i*)».
11. Какие преимущества и ограничения видов взрывозащиты?
12. Как маркируется взрывозащищенное электрооборудование?
13. Поясните выбор безопасных средств измерения и автоматизации.
14. Дайте сравнительный анализ видов взрывозащиты.
15. Поясните выбор средств измерения и автоматизации для взрывоопасных зон.
16. Как выбираются средств измерения и автоматизации для пожароопасных зон?
17. Какие особенности применения промышленных сетевых технологий во взрывоопасных зонах?

13. ЗАЩИТА ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Отрицательными последствиями воздействия высоковольтных импульсов напряжения, возникающих в электропроводке систем автоматизации, являются сбои в функционировании, выход из строя приборов и аппаратных средств нижнего уровня систем, выполненных с применением чувствительных микропроцессорных компонентов и интегральных схем. Причинами возникновения высоковольтных импульсов напряжения являются не только электромагнитные импульсы разрядов молний, но и «всплески» напряжения, возникающие в результате различных переходных процессов в аппаратуре или наводимые в цепях приборов электромагнитным импульсом искусственного происхождения за счёт излучений от высоковольтных линий электропередач, сетей электрифицированных железных дорог, электросварочных аппаратов и т.п. [9] Последствия для организаций, эксплуатирующих оборудование, которое подверглось подобному воздействию, могут быть очень серьёзными, так как простой системы, определение места повреждения и повторный ввод в эксплуатацию приводят к огромным материальным затратам.

Для защиты электроустановок от грозовых перенапряжений, возникающих при прямых ударах молнии, применяются молниеотводы, молниеотводные сетки, направляющие ток разряда по магистрали заземления, вентильные разрядники [7]. С этой же целью используется и клетка Фарадея, которая обеспечивает металлическим шкафам с установленной аппаратурой постоянную высокую проводимость на пути тока разряда к земле в обход чувствительной аппаратуры и рассеивание нежелательных токов по 66 многочисленным цепям заземления.

В результате разряды нейтрализуются ещё до того, как они пройдут в опасной близости от защищаемой аппаратуры.

Тем не менее, для незащищённых электронных систем сохраняется опасность неожиданного уничтожения, так как сверхмощные пики напряжения являются разовыми труднопредсказуемыми явлениями.

13.1. Наведённые токи – источник наибольшей опасности

В идеальном случае в результате разряда молнии молниеотвод направляет всю энергию разряда в точку нулевого потенциала через свой заземлитель. Длительность разряда молнии составляет всего лишь около 0,3 мс при среднем значении силы тока 45 кА и напряжения до 400 МВ (400 000 000 В!). Наибольшую опасность представляет не прямое воздействие энергии, которая отводится через заземляющее устройство на землю, а нарастание тока и напряжения за чрезвычайно короткое время и возникающие в результате физические эффекты взаимной связи. В молниевом канале скорость нарастания напряжения составляет 12 кВ, а значения тока – до 200 кА за микросекунду. Быстрое изменение тока и его высокое значение приводят к наводке в рядом

размещённой электропроводке вторичных токов до 5 кА с напряжением до 10 кВ. Так как электропроводка систем автоматизации выполняется кабелями и проводами, проложенными на большие расстояния, последствия от таких наводок и размеры подвергаемых опасности зон оказываются значительными. Например, высоковольтные высокочастотные импульсы, наведённые в проводниках датчика, способны воздействовать не только на датчик, но и через его входные цепи на систему управления, выполненную с применением чувствительных микропроцессорных устройств, для разрушения которых достаточно энергии от единиц до сотни микрожоулей. Возможные последствия варьируются от разрушения датчика до повреждения входных узлов и даже всей системы управления.

13.2. Приборы и средства защиты для цепей контрольно-измерительного оборудования

Различными фирмами предложены приборы, обеспечивающие эффективную защиту аппаратных средств систем автоматизации от импульсных грозовых (молниевых) и коммутационных перенапряжений. Модуль защитного устройства состоит из газонаполненного разрядника и ограничителя напряжения: газонаполненные искровые разрядники отводят значительный ток в землю, полупроводниковые ограничители напряжения ограничивают напряжение до допустимого уровня. Данные устройства применяются для защиты входных цепей шкафов управления, а также для защиты цепей связанного электрооборудования, установленного непосредственно в технологической зоне. Эти модули отличаются простотой установки, небольшими габаритными размерами, способностью проводить импульсный ток величиной до 10 кА и длительным сроком службы. Защитные барьеры от разрядов молнии могут быть также установлены в искробезопасных цепях (ИБЦ) и непосредственно во взрывоопасных зонах класса 2 для защиты аппаратных средств нижнего уровня систем автоматизации. Существуют варианты исполнения защитных устройств для гальванически изолированных искробезопасных и искроопасных цепей, а также для барьеров искрозащиты на стабилизаторах.

13.3. Защитные устройства для сигнальных линий

Модули защиты от грозовых перенапряжений (*Surge Protection Barrier* – *SPB*) предназначены для обеспечения безопасности оборудования, подключённого к линиям измерения и управления. *SPB* уменьшают высоковольтные напряжения, наводимые разрядами молнии, посредством ограничения напряжения до безопасного уровня и отводят разрушительные импульсы тока через магистраль заземления. Эти защитные устройства могут устанавливаться как в залах управления (диспетчерских), так и непосредственно на технологическом оборудовании.

Модули обеспечивают защиту от несимметричных (между проводом и

корпусом) и симметричных (между проводами) наведённых напряжений и гарантируют непрерывность технологического процесса.

Защитные устройства серии *FS-LB* фирмы *Pepperl+Fuchs* выполнены в корпусах из высоколегированной стали. Они ввинчиваются в корпуса приборов и устройств нижнего уровня систем автоматизации и имеют исполнения с разнообразными типами резьбы (рис. 13.1). Защитное устройство можно ввинтить в свободный кабельный ввод на защищаемом приборе, а три его провода присоединить к соответствующим контактным площадкам в клеммном отсеке (рис. 13.2). Устройства серии *K-LB* конструктивно выполнены в корпусах шириной 12,5 мм с зажимами и предназначены для защиты систем управления и модулей, установленных в шкафах (рис. 13.3).



Рис. 13.1. Защитное устройство серии *FS-LB* в стальном корпусе

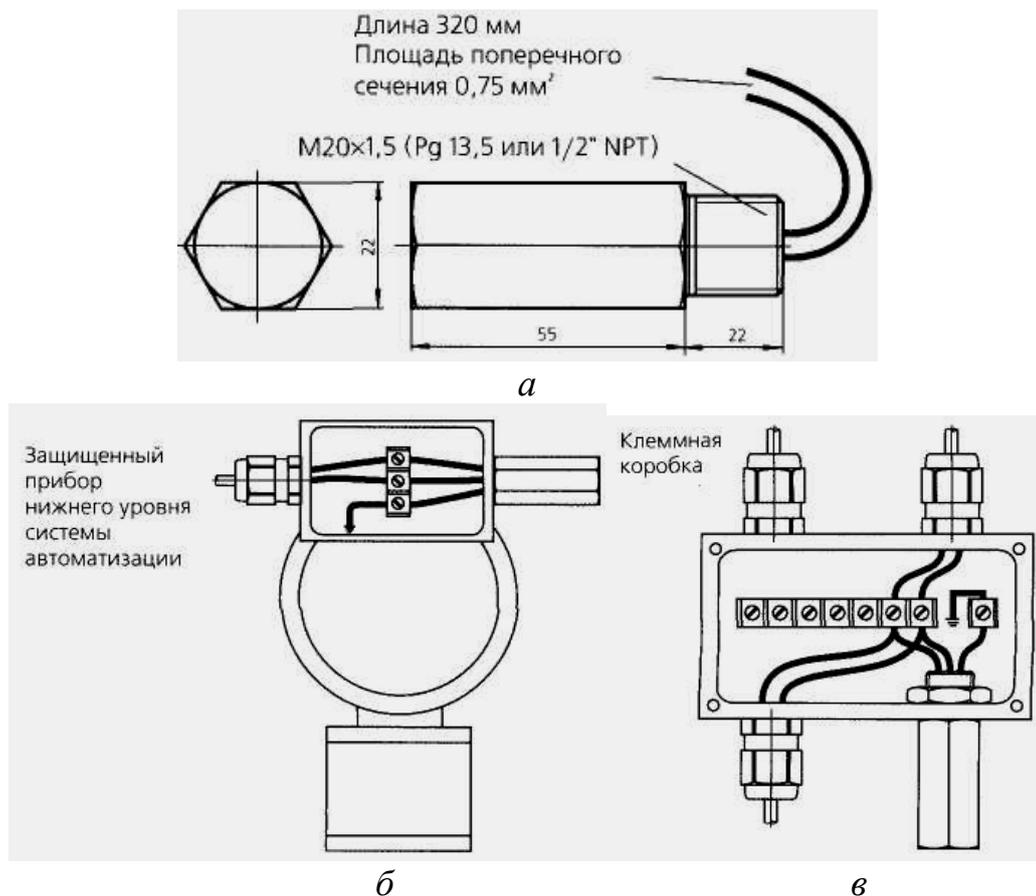


Рис. 13.2. Габаритные размеры (а) устройства *F*-LB-I* и примеры схем подключения его внешних цепей при установке устройства на корпусе защищаемого прибора (б) и в клеммной коробке (в)

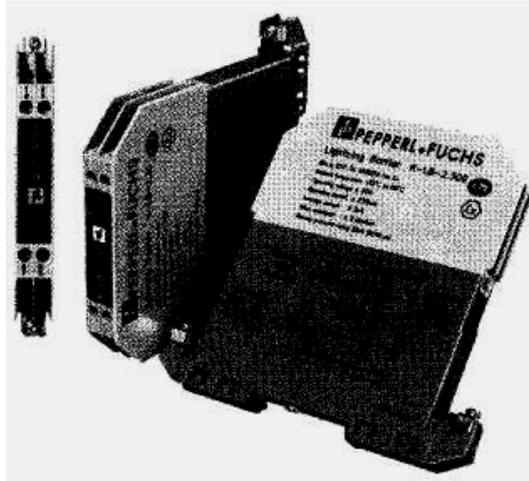


Рис. 13.3. Защитные устройства серии *K-LB*

Можно выделить следующие технические характеристики и особенности модулей серии *K-LB*:

- импульсный ток, пропускаемый при срабатывании, составляет 10 кА (8/20 мкс) в соответствии с *ССТТ* и *IEC 60060-1* (защитное устройство *Category C*);
- модули применяются для всех типов цепей измерения и управления;
- в модуле до двух каналов в одном корпусе;
- простая и быстрая установка;
- соединительный зажим для проводов с площадью поперечного сечения до $2,5 \text{ мм}^2$;
- монтаж на *DIN*-рельс и соединение через него с магистралью заземления;
- пригодны для размещения в диспетчерских и непосредственно на технологической установке (на нижнем уровне систем автоматизации);
- сертифицированы для применения в искробезопасных цепях; изоляция между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования не менее 500 В;
- являются самовосстанавливающимися и не требуют текущего технического обслуживания.

Электрические параметры модулей серий *K-LB* и *F*-LB* представлены в табл. 13.1.

На рис. 13.4 приведены электрические схемы устройств серий *K-LB-30* и *K-LB-30G*, из которых видно, что в качестве защитных компонентов в данных изделиях применяются газонаполненные разрядники и полупроводниковые ограничители напряжения. Импульсный дроссель используется как искусственная линия задержки, что обеспечивает последовательное срабатывание ограничителей напряжения от более мощных (газонаполненных разрядников) до менее мощных (полупроводниковых ограничителей).

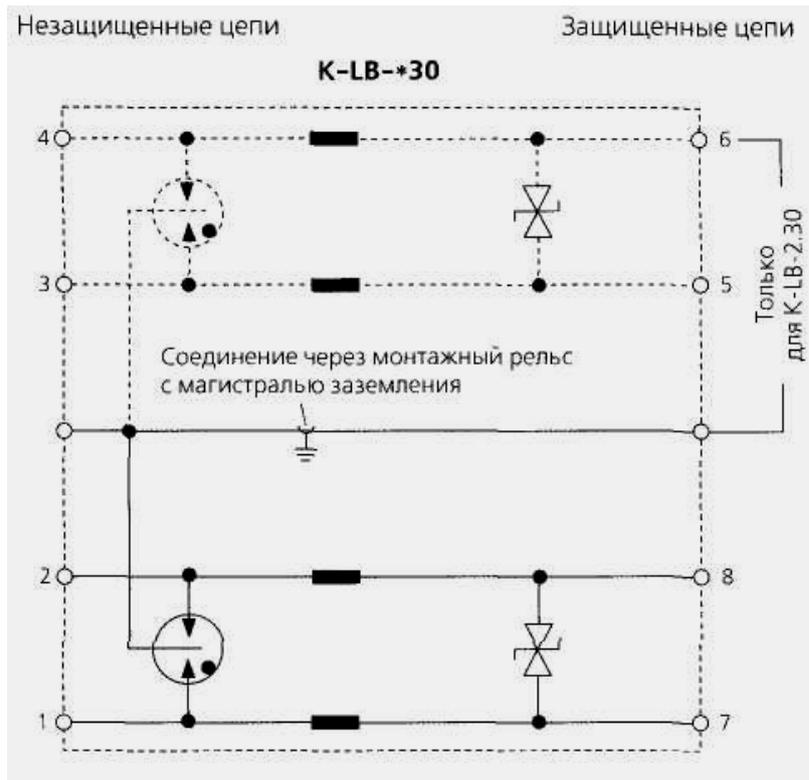


Рис. 13.4. Электрические схемы устройств ограничения напряжения серии *K-LB* -*30 фирмы *Pepperl+Fuchs*

Таблица 13.1

Электрические параметры защитных устройств серий *K-LB* и *F*-LB*

Параметр	Серия	Стандартное исполнение		Исполнение в стальном корпусе для вворачивания в корпус защищаемого устройства
		<i>K-LB</i> -*30(6)G	<i>K-LB</i> -*30(6)	
Рабочее напряжение		≤ 30 В (6 В)		≤ 48 В
Рабочий ток		≤ 250 мА		≤ 250 мА
Ток утечки		≤ 5 мкА (≤ 10 мкА)		≤ 5 мкА
Допустимое напряжение		≤ 45 В (≤ 12 В)		≤ 85 В
Напряжение пробоя изоляции		90 В	500 В	500 В

Порядок применения модулей *SPB* для защиты выносных устройств систем автоматизации иллюстрирует рис. 13.5.

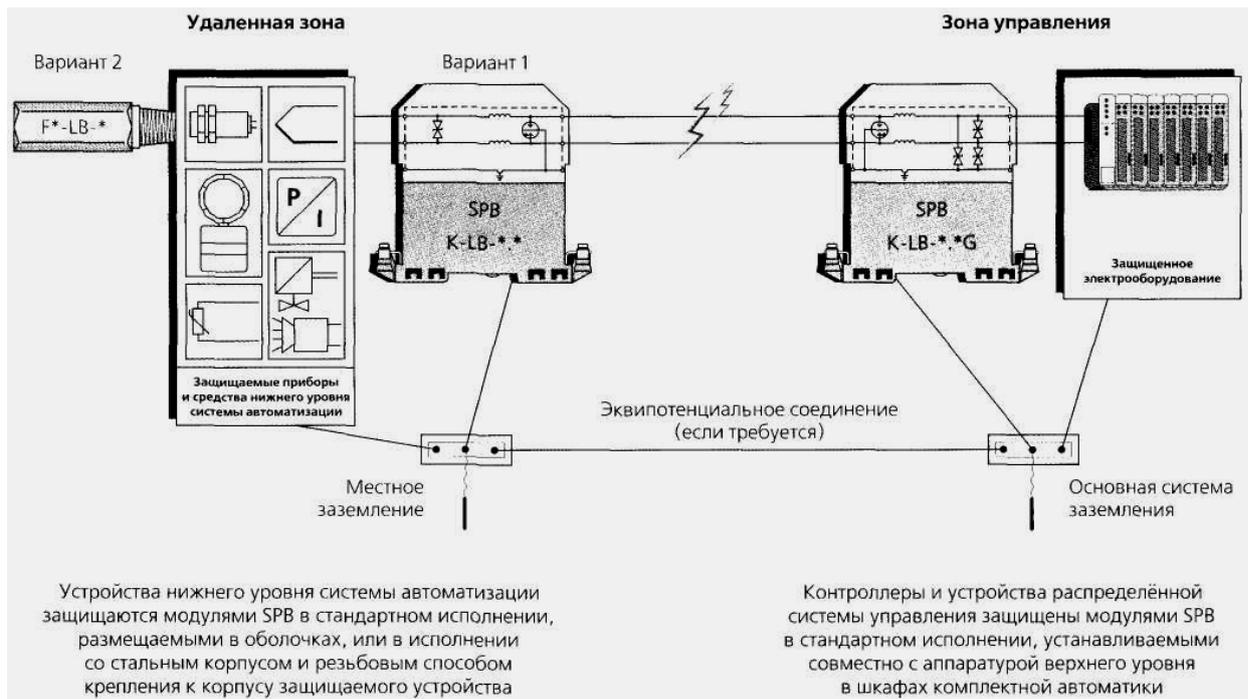


Рис. 13.5. Применения модулей *SPB* для защиты выносных устройств систем автоматизации

13.4. Гальванически изолированные сигнальные цепи с защитными устройствами

Наиболее распространённым и эффективным способом разделения искробезопасных и искроопасных цепей является применение барьеров искрозащиты, обеспечивающих гальваническую изоляцию между искроопасными и искробезопасными цепями посредством разделительных барьеров с трансформаторной гальванической изоляцией (*Transformer Isolated Barrier – TIB*).

Модули *SPB* фирмы *Pepperl+Fuchs* обеспечивают изоляцию между искробезопасной цепью и заземлёнными частями электрооборудования не менее 500 В переменного тока (действующее значение). Они являются идеальным защитным средством для *TIB*, и соединение двух таких защитных устройств (рис. 13.6) гарантирует двухпроводной сигнальной линии связи надёжную гальваническую изоляцию от контура заземления.



Рис. 13.6. Применение модулей *SPB* с электрическими аппаратами, приборами и другими средствами автоматизации, установленными во взрывоопасных зонах

Контрольные вопросы

1. Поясните причины возникновения наведенных токов в телекоммуникациях систем автоматического управления.
2. Какие цели преследуют мероприятия по защите приборов и средств автоматизации от высоковольтных импульсов напряжения?
3. Какую опасность несут наведенные импульсы напряжения?
4. Охарактеризуйте приборы и средства защиты для цепей контрольно-измерительного оборудования.
5. Перечислите защитные устройства для сигнальных линий.
6. Нарисуйте принципиальную электрическую схему гальванически изолированной сигнальной цепи с защитными устройствами.

14. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО МИКРОКЛИМАТА

В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ШКАФАХ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Надежность и безопасность автоматизированных систем во многом определяется условиями работы приборов и средств управления. Для достижения гарантированной надёжности при проектировании аппаратной инфраструктуры необходимо учесть все строительные и технические требования. Обеспечение требуемого микроклимата в шкафу является важнейшим условием безотказной работы аппаратуры [14].

14.1. Типы агрегатов теплообмена

Для обогрева оборудования в шкафу используются устройства одного типа – нагреватели, в то время как для отвода избыточного тепла из шкафа – множество устройств различных типов. Алгоритм выбора типа охлаждения представлен на рис. 14.1.

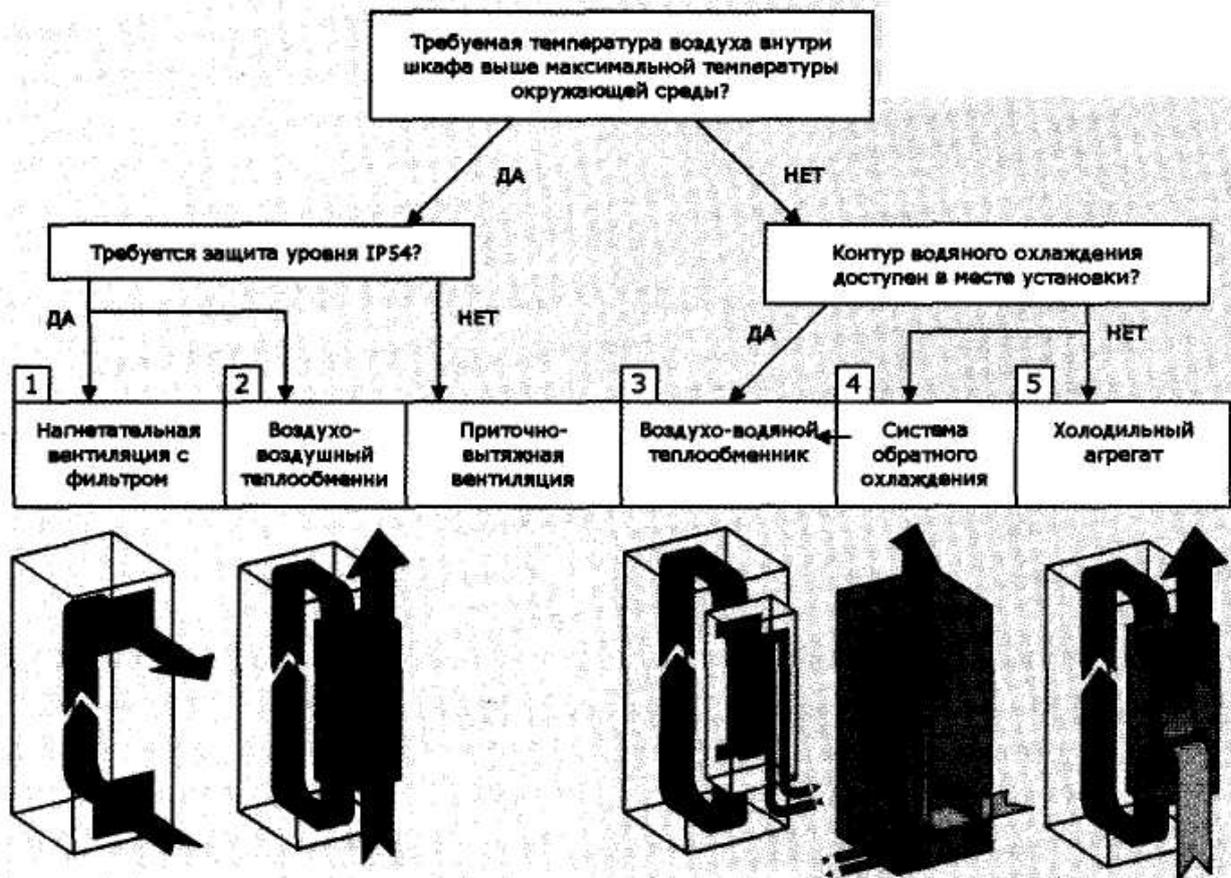


Рис. 14.1. Алгоритм выбора типа охлаждения

Наиболее широкое практическое применение имеют нагнетательные

вентиляторы и холодильные агрегаты. Важно отметить, что в настоящее время на рынке доступны блоки «вентилятор+фильтр», при установке которых на боковую поверхность шкафа можно сохранить его защиту на уровне не ниже *IP56*.

Все доступные на рынке агрегаты характеризуются различной производительностью, что помогает потребителю выбрать оптимальный вариант для решения его задачи.

14.2. Расчёт теплового баланса шкафа

В области систем микроклимата для шкафов действуют несколько стандартов: *IEC 60 890* (ранее МЭК 890), *EN 60 814*, *DIN 57660* часть 500, *VDE 0660* часть 500, являющиеся по сути одной и той же нормой, принятой разными институтами. Эти стандарты унифицируют принцип расчёта теплообмена шкафа.

Считается, что единственным способом теплообмена шкафа с окружающей средой является естественная конвекция. Следовательно, принципиально важным является понятие эффективной площади теплообмена шкафа. Очевидно, что способ установки шкафа: свободно стоящий, у стены, в нише – радикально влияет на теплообмен шкафа. Стандартом предусмотрена классификация типов установки шкафов и указана формула для расчета эффективной площади теплообмена A для каждого случая (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Формулы для расчёта параметра A

Тип установки	Формула для расчёта A , м ²
Один шкаф, свободно стоящий	$A = 1,8 \cdot H \cdot (W+D) + 1,4 \cdot W \cdot D$
Один шкаф, монтируемый на стену	$A = 1,4 \cdot W \cdot (H+D) + 1,8 \cdot D \cdot H$
Крайний шкаф свободно стоящего ряда	$A = 1,4 \cdot D \cdot (H+W) + 1,8 \cdot W \cdot H$
Крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену	$A = 1,4 \cdot H \cdot (W+D) + 1,4 \cdot W \cdot D$
Не крайний шкаф свободно стоящего ряда	$A = 1,8 \cdot W \cdot H + 1,4 \cdot W \cdot D + D \cdot H$
Не крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену	$A = 1,4 \cdot W \cdot (H+D) + D \cdot H$
Не крайний шкаф в ряду, монтируемом на стену, под козырьком	$A = 1,4 \cdot W \cdot H + 0,7 \cdot W \cdot D + D \cdot H$

В приведённой таблице использованы следующие обозначения:

W – ширина шкафа, м;

H – высота шкафа, м;

D – глубина шкафа, м.

Далее для расчётов будут использоваться следующие переменные и параметры:

T_i – температура внутри шкафа, К;

T_a – температура окружающей среды, К;

$$\Delta T = T_i - T_a,$$

Q_v – тепловые потери, выделяемые оборудованием внутри шкафа, Вт;

Q_s – тепло, отводимое через поверхность шкафа, Вт; $Q_s > 0$ при $\Delta T > 0$, $Q_s < 0$ при $\Delta T < 0$; Q_0 – необходимая мощность охлаждения холодильного агрегата (кондиционера) шкафа или тепловая мощность обогревателя шкафа ($Q_0 < 0$), Вт;

V – объёмный поток воздуха, м³/ч; A – эффективная площадь теплообмена шкафа, м²; k – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; для листовой стали $A = 5,5$, для пластиков $k = 3,5$; для шкафов с двойными стенками из стального или алюминиевого листа принимают $k = 2,7 \div 3,0$.

Если шкаф не имеет средств климатизации, то установившаяся ($Q_v = Q_s$) разность температур между внутренним пространством шкафа и окружающей средой описывается известным уравнением теплопроводности:

$$\Delta T = \frac{Q_s}{k \cdot A}. \quad (14.1)$$

Если полученное из (14.1) с помощью выражения $\Delta T = T_i - T_a$ значение T_i больше/меньше допустимого, то необходима дополнительная мощность для охлаждения/отопления шкафа:

$$Q_0 = Q_v - Q_s.$$

Несложная подстановка даёт итоговое выражение:

$$Q_0 = Q_v - k \cdot A (T_i - T_a). \quad (14.2)$$

Примеры расчётов

Пример 14.1. Пусть имеется свободно стоящий стальной шкаф высотой 2,0 м, шириной 0,6 м, глубиной 0,5 м, максимальная температура окружающей среды равна + 50°С, а максимально допустимая температура внутри шкафа равна + 35°С, суммарная мощность тепловых потерь оборудования внутри шкафа составляет 700 Вт.

1) для указанного шкафа значение параметра $A = 4,4$ м²;

2) $\Delta T = 35 - 50 = -15$ К;

3) коэффициент теплопередачи для этого шкафа $k \approx 5,5$ Вт/м²·К;

4) $Q_v = 700$ Вт;

5) $Q_0 = 700 \text{ Вт} - 5,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \times 4,4 \text{ м}^2 \times (-15 \text{ К}) = 1063 \text{ Вт}$.

Необходимо выбрать холодильный агрегат, имеющий мощность охлаждения не ниже 1063 Вт при соотношении температур снаружи и внутри шкафа +50 °С / +35 °С. Очень важно при выборе агрегата оперировать не только значением мощности, но и значениями температур T_i и T_a ; это иллю-

стрируется типовой диаграммой тепловой мощности кондиционера, показанной на рис. 14.2.

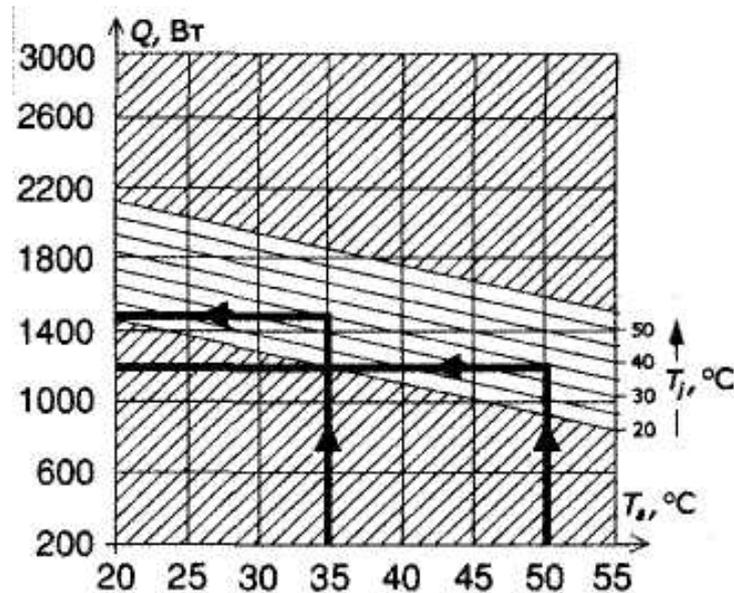


Рис. 14.2. Типичная диаграмма мощности холодильного агрегата

Из точки $T_a = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ строим вертикальную линию до характеристики, соответствующей $T_i = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, и затем горизонталь до пересечения с осью значений мощности. Полученное значение ($\approx 1200\text{ Вт}$) больше требуемого, поэтому холодильный агрегат с этой характеристикой подойдет для решения нашей задачи.

Заметим, что выбор для расчёта именно таких значений температуры снаружи и внутри шкафа не случаен. Определение рабочих характеристик холодильных агрегатов проводится согласно стандарту *DIN 3168*. Этим стандартом предусмотрено два обязательных режима испытаний: «A35/A35» и «A35/A50». Первое обозначение указывает, что испытание проводится при температуре воздуха внутри шкафа $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и воздуха снаружи шкафа $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$; второе указывает на температуру воздуха внутри шкафа $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и воздуха снаружи шкафа $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Буква *A* в обоих обозначениях указывает, что теплоносителем является воздух (*air* – воздух, англ.). Встречаются различные варианты этой нотации: «A50/A35», «A35/A50», в немецкоязычной литературе и на оборудовании используется нотация «L3/L50» (*Luft* – воздух, нем.). Следствием таких требований стандарта является тот факт, что почти все контроллеры кондиционеров и теплообменников имеют заводскую установку $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Будьте внимательны: если в спецификации холодильного агрегата указано лишь одно значение его мощности, то это значение для условий «A35/A35». Тепловая мощность агрегата в условиях «A35/A50» будет намного ниже. По диаграмме рис. 14.2 легко установить, что это 1500 Вт и 1200 Вт соответственно.

Ведущие производители холодильных агрегатов снабжают свои изделия полными диаграммами мощности, благодаря чему инженер может провести корректный расчёт для любых параметров окружающей среды.

Пример 14.2. Рассмотрим тот же шкаф, что и ранее, при эксплуатации в зимних условиях: минимальная температура окружающей среды равна -30°C , а минимально допустимая температура внутри шкафа равна $+10^{\circ}\text{C}$, суммарная мощность тепловых потерь оборудования внутри шкафа составляет 700 Вт.

1) $A = 4,4 \text{ м}^2$;

2) $\Delta T = +10 - (-30) = +40 \text{ К}$;

3) $k \approx 5,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$;

4) $Q_v = 700 \text{ Вт}$;

5) $Q_0 = 700 \text{ Вт} - 5,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \times 4,4 \text{ м}^2 \times (+40 \text{ К}) = -268 \text{ Вт}$.

$Q_0 < 0$, поэтому в рассматриваемом случае необходим обогреватель шкафа. Нагреватели, аналогично холодильным агрегатам, характеризуются диаграммами тепловой мощности (рис. 14.3). Модели обогревателей обозначены цифрами от 1 до 4.

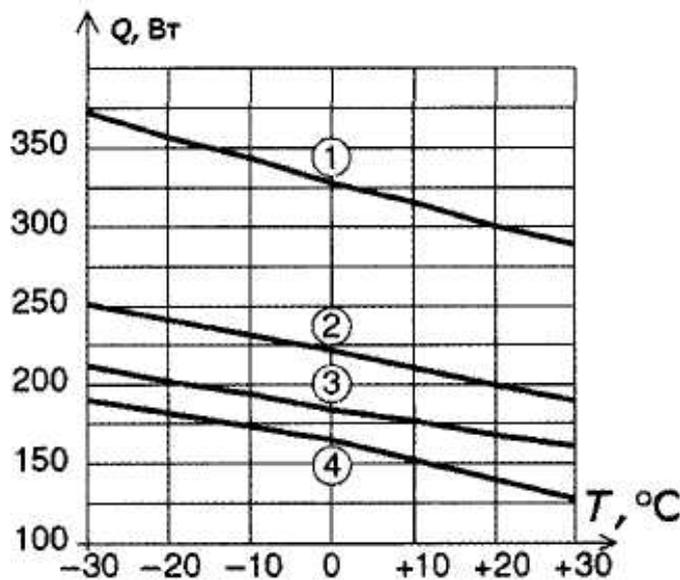


Рис. 14.3. Диаграмма тепловой мощности нагревателей четырёх моделей

Однако на практике этими диаграммами почти никогда не пользуются, за исключением случаев, когда необходимо экономить каждый ампер. В кратких характеристиках обогревателя всегда указано одно значение его мощности; обычно это значение при $+20^{\circ}\text{C}$. Поскольку при понижении температуры тепловая мощность растёт, выбрать обогреватель просто: достаточно лишь убедиться, что тепловая мощность, указанная в спецификации прибора, превышает требуемую.

Представленный метод расчёта теплообмена стандартизован для шка-

фов, установленных в помещении, то есть исходит из того, что отсутствует движение воздуха снаружи шкафа. Для шкафов, установленных на улице, где возможно движение воздуха, применяют тот же метод расчёта, а для учёта больших тепловых потерь необходимо удвоить значение коэффициента теплопередачи k .

14.3. Активная вентиляция

Блоки вентилятор+фильтр (ВФ) являются наиболее экономным средством отвода тепла. Предпосылками для их использования являются:

- температура воздуха вне шкафа ниже температуры воздуха внутри него;
- относительно чистый окружающий воздух, иначе слишком часто придётся менять фильтры.

Для расчёта объёмного потока V , необходимого для отвода тепловой мощности Q_v , применяется следующее выражение:

$$V = f \frac{Q_v}{\Delta T}, \quad (14.3)$$

где f – коэффициент, зависящий от высоты над уровнем моря, значение которого определяется согласно табл. 14.2

Таблица 14.2

Высота над уровнем моря, м	$f, m^3 \cdot \frac{K}{Вт \cdot ч}$
0-100	3,1
100-250	3,2
250-500	3,3
500-750	3,4
750-1000	3,5

Обычно достаточно пользоваться диаграммой, построенной по формуле (14.3) для $f = 3,1 m^3 \cdot \frac{K}{Вт \cdot ч}$ и показанной на рис. 14.4.

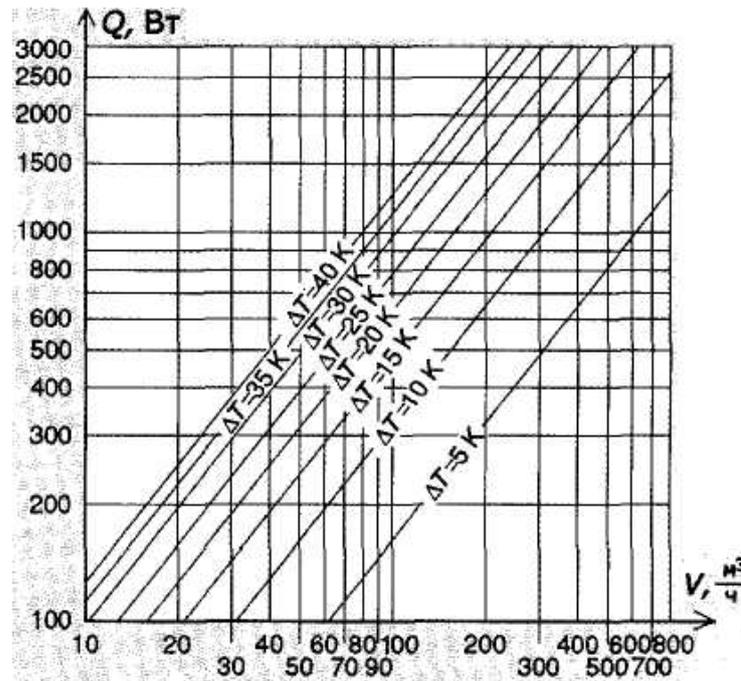


Рис. 14.4. Диаграмма теплоотвода блока вентилятор + фильтр

Обратите внимание, что в характеристиках блоков ВФ обычно указывается производительность для свободного потока, без учёта противодавления воздуха, возникающего при установке в шкаф также и выходного фильтра. При установке одного выходного фильтра совпадающего с блоком ВФ размера реальная производительность вентилятора падает в среднем на 25-30%. Уменьшить падение производительности помогает установка двух фильтров или одного фильтра следующего в модельном ряду типоразмера. Дальнейшее увеличение площади выходного фильтра существенной прибавки производительности не даёт.

Рекомендуется всегда устанавливать вентиляторы так, чтобы они нагнетали воздух в нижнюю часть шкафа и комплектовать шкаф выходными фильтрами в верхней части. Блоки ВФ поставляются производителями собранными именно в виде нагнетающего модуля. В шкафу создаётся избыточное давление чистого воздуха, предотвращающее попадание грязного воздуха внутрь через возможные дефекты уплотнения шкафа. Тем не менее, в случае необходимости вентилятор легко перемонтировать, развернув его на 180° , чтобы обеспечить вытяжку воздуха из шкафа.

Как правило, блоки ВФ имеют уровень защиты *IP54* стандартно. При установке фильтров тонкой очистки (опция), способных задерживать частицы с поперечником более 10 мкм, уровень защиты достигает *IP55*, а при установке ещё и специального брызгозащитного козырька – *IP56*.

Поставляются специальные версии вентиляторов с питанием от постоянного тока (24 или 48 В), а также вентиляторы, не нарушающие электромагнитную защиту шкафа при их установке.

14.4. Теплообменники для электротехнических шкафов

Воздухо-воздушные теплообменники являются самыми простыми и экономичными агрегатами теплоотвода после вентиляторов. Предпосылками для их использования являются:

- температура воздуха вне шкафа ниже температуры воздуха внутри него;
- загрязнённая или агрессивная окружающая среда.

Наличие двух независимых несообщающихся воздушных контуров, наружного и внутреннего, полностью изолирует содержимое шкафа от внешней среды. Эти агрегаты незаменимы там, где окружающая среда загрязнена мелкодисперсной пылью, аэрозолями, парами растворителей, едких веществ.

Эти теплообменники характеризуются фактически одним параметром – нормированной тепловой производительностью q_w , Вт/К. Чтобы правильно выбрать теплообменник, достаточно убедиться, что выполняется неравенство:

$$q_w = \frac{Q_0}{\Delta T}. \quad (14.4)$$

Типичные значения параметра q_w современных воздухо-воздушных теплообменников лежат в пределах 15-90 Вт/К.

Воздухо-водяные теплообменники незаменимы, если:

- необходимо рассеять большое количество избыточного тепла из сравнительно малого объёма, в том числе из шкафов, образующих ряд;
- непосредственное рассеяние тепла в окружающий воздух нежелательно или невозможно из-за малого объёма помещения или экстремальных значений температуры окружающей среды (от + 1 до + 75°C);
- воздух помещения сильно загрязнён, поэтому использование обычного холодильного агрегата невозможно.

Для того, чтобы при установке теплообменника не нарушалась защита шкафа, эти приборы имеют уровень защиты *IP55* стандартно, по заказу изготавливаются изделия с уровнем защиты до *IP65*.

Согласно требованию стандарта *DIN 3168* теплообменники характеризуются параметром «полезная охлаждающая мощность», Вт. Типичное обозначение на приборе или в документации выглядит так: *A35W10, 200 l/h, 600 W*. Это означает, что при температуре воздуха (*A* – англ., *L* – нем.) внутри шкафа +35 °С, воды (*W* – *water*, англ., *Wasser*, нем.) на входе в теплообменник + 10 °С и скорости обмена 200 л/ч (*l/h*) теплообменник имеет полезную охлаждающую мощность 600 Вт. Типичная тепловая диаграмма воздухо-водяного теплообменника показана на рис. 14.5.

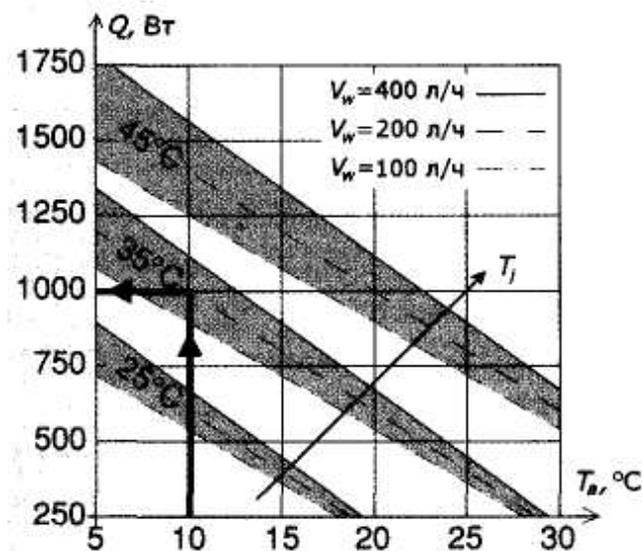


Рис. 14.5. Тепловая диаграмма воздухо-водяного теплообменника

Подбор теплообменника проводится точно так же, как и подбор холодильного агрегата.

Температура воды на входе теплообменника может лежать в пределах от +1 до +30 °С. Естественно, обязательно использовать только специально подготовленную воду. Детализацию требований к подготовке воды можно получить у производителя или продавца оборудования.

14.5. Системы обратного охлаждения

Системы обратного охлаждения (СОО) используются там, где требуется очень высокая мощность охлаждения:

- охлаждение машин и механизмов, приводов, лазеров;
- охлаждение жидкостей, газов;
- рассеяние тепла от воздухо-водяных теплообменников;
- централизованные/интегрированные системы охлаждения.

Системы обратного охлаждения характеризуются главным параметром – мощностью охлаждения. Согласно стандарту эта характеристика нормируется всегда при фиксированных условиях: температура окружающего воздуха +32 °С и температура на входе +18 / +20 °С при использовании в качестве теплоносителя воды/масла соответственно.

Серийно в виде готовых к подключению аппаратов поставляются системы мощностью примерно от 1 до 200 кВт, по заказу возможно изготовление и более производительных систем. Аппараты обратного охлаждения обычно имеют уровень защиты не выше IP44, так как не предназначены для установки в загрязнённых помещениях.

Сравнительно новым является непосредственное применение СОО без воздухо-водяных теплообменников в информационных технологиях (ИТ-приложениях). Не секрет, что современные процессоры рассеивают очень

большую мощность, более 50 Вт/см^2 . Процессоры и дисковые накопители дают максимальный вклад в тепловые потери серверов. Решение с отводом тепла от процессора и накопителей специальным радиатором с циркуляцией теплоносителя и его последующим охлаждением в СОО оказывается эффективнее, чем использование бесконечного числа вентиляторов для отвода тепла сначала от его источника в корпус сервера, затем в шкаф, затем из шкафа в окружающий воздух. Продолжающаяся гонка производительности ведёт к тому, что система распределения жидкого теплоносителя скоро станет такой же обязательной для каждого ИТ-шкафа, как сейчас система распределения кабелей.

14.6. О проблеме влажности внутри шкафа

Неизбежным побочным эффектом использования холодильного агрегата (кондиционера) или теплообменника для охлаждения шкафа является осушение воздуха. В процессе выхода на заданный тепловой режим воздух в шкафу постепенно остывает, и часть водяного пара конденсируется на змеевке испарителя или теплообменника. Образующийся конденсат необходимо удалять из шкафа, все средства для этого входят в комплект поставки оборудования. Количество образующегося конденсата зависит от относительной влажности воздуха, температуры и объёма воздуха в шкафу, температуры змеевки испарителя.

Количество конденсата, который выделится, можно вычислить с помощью простой формулы и диаграммы Мольера $h-x$. Диаграмма предназначена для определения содержания водяного пара в воздухе и изображена на рис. 14.6.

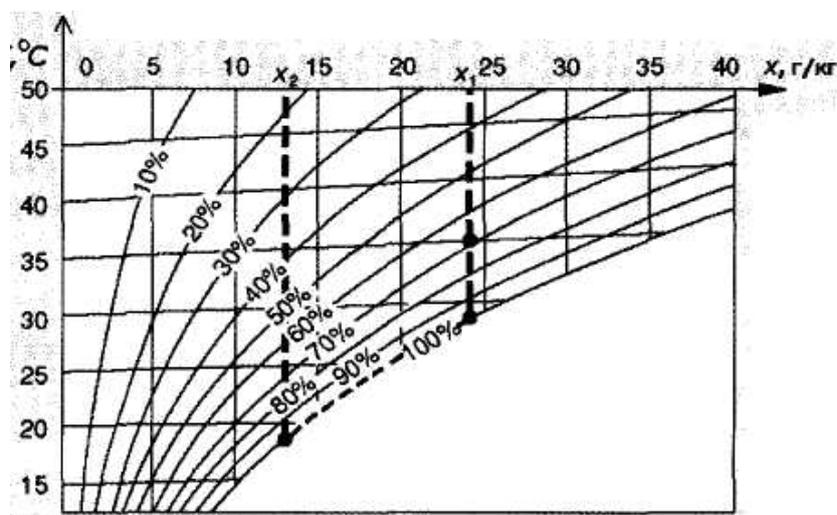


Рис. 14.6. Диаграмма Мольера $h-x$

Количество выделившегося конденсата вычисляется по следующей формуле:

$$M = V \cdot \rho \cdot \Delta x, \quad (14.5)$$

здесь M – масса выделившейся воды, г,

V – объём воздуха в шкафу, м^3 ,

ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$,

Δx – разность массовых долей воды на кг сухого воздуха, г/кг.

Пример 14.3. После закрытия двери хорошо знакомого нам шкафа ($2,0 \times 0,6 \times 0,5 \text{ м}^3$; V - $0,6 \text{ м}^3$) холодильный агрегат начинает охлаждать воздух внутри шкафа при следующих начальных условиях: температура воздуха $+35 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность 70% .

Воздух, содержащий x_1 грамм воды на килограмм сухого воздуха, проходит вблизи змейки испарителя с температурой поверхности $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ (хладагент *R134a* испаряется при этой температуре), охлаждается до точки росы и осушается до содержания x_2 г воды на кг сухого воздуха. По диаграмме определяем $\Delta x = 24 - 13 = 11$ г/кг. Пусть $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, тогда $M = 0,6 \text{ м}^3 \times 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3 \times 11 \text{ г}/\text{кг} = 7,9$ г. Другими словами, если шкаф полностью герметичен, то при выходе на режим выделится всего около 8 мл воды, и больше конденсат выделяться не будет. Естественно, шкаф с защитой *IP55* не может быть полностью герметичен, поэтому внутрь шкафа будет поступать свежий воздух и осушаться, что будет сопровождаться постоянным выделением конденсата. Плохо уплотнённые кабельные вводы, повреждённые уплотнители дверей, уплотнители индикаторов, смонтированных на поверхностях шкафа, приводят к излишнему поступлению свежего воздуха. Например, для рассмотренного примера утечка воздуха в объёме $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ приведёт к выделению конденсата в объёме $80 \text{ мл}/\text{ч}$, который нужно будет отводить и утилизировать.

Кроме того, диаграмма Мольера наглядно поясняет очень важное явление: выпадение конденсата на содержимом охлаждаемого шкафа при его открытии. Пусть установившаяся температура воздуха внутри шкафа равна $+30 \text{ }^\circ\text{C}$, допустим, что такую же температуру имеют большинство элементов оборудования шкафа. Пусть условия окружающей среды таковы: $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ при относительной влажности 60% . При открытии шкафа без предварительного повышения температуры в нём произойдёт поступление свежего воздуха и его резкое охлаждение на поверхностях установленного в шкафу оборудования с выпадением конденсата. Именно во избежание выпадения конденсата холодильные агрегаты в практических применениях часто работают в режимах типа «*A35/A35*», то есть не охлаждают воздух в шкафу до температуры ниже наружной, а только отводят избыток тепла от внутреннего оборудования. Только при таких режимах можно гарантировать, что открытие шкафа в любой момент времени не приведёт к выпадению конденсата на его внутренних поверхностях.

Казалось бы, чем суше воздух в шкафу, тем лучше – электроника не

терпит воды. Однако излишнее осушение воздуха тоже таит в себе опасность: на деталях оборудования происходит накопление статических электрических зарядов. При обычной влажности заряды стекают через воздух на заземлённые элементы, а в очень сухом воздухе может произойти разряд, выводящий из строя электронные компоненты. Поэтому в критических приложениях, например в биллинговых системах, других системах реального времени, используют централизованные системы кондиционирования серверных помещений с поддержанием температуры и влажности в заданных пределах.

Иногда по условиям задачи не требуется обогрев шкафа в холодное время года: устанавливаемое в шкаф оборудование работает в расширенном температурном диапазоне. Тем не менее, для предотвращения выпадения конденсата при охлаждении шкафа следует установить нагревательный элемент, снабдив его гидростатом или термостатом. Возможен другой подход к этой проблеме: использовать шкафы большого объёма, двустенные, с дополнительной теплоизоляцией, то есть любым способом повысить тепловую инертность системы.

Таким образом, предлагаются следующие рекомендации:

- максимально герметизировать шкаф;
- не устанавливать контроллер кондиционера или теплообменника на поддержание внутри шкафа температуры ниже реально необходимой;
- использовать концевые выключатели для отключения холодильного агрегата (теплообменника) при открытой двери шкафа;
- при необходимости поддерживать внутри шкафа температуру ниже наружной обязательно использовать автоматику, чтобы дверь шкафа можно было открыть только после отключения холодильного агрегата (теплообменника) и повышения температуры внутри шкафа;
- использовать комплексные автоматизированные системы мониторинга и управления микроклиматом шкафа.
- выбирать агрегаты с запасом по тепловой мощности на 20 % относительно расчётной не только для компенсации погрешностей расчёта, но и для более быстрого выхода на стационарный тепловой режим.
- всегда использовать термостаты, контроллеры кондиционеров и теплообменников, контроллеры скорости вентиляторов. Эти простые устройства автоматики не только не допустят перегрева или переохлаждения воздуха в шкафу, но и сэкономят электроэнергию, снизят уровень шума от работающих агрегатов.
- по возможности вместо одного обогревателя большой мощности использовать несколько приборов меньшей мощности, разместив их в разных местах шкафа. Смонтировать на нагреватели специальные вентиляторы или установить универсальные вентиляторы внутри шкафа для перемешивания воздуха с целью добиться ровного распределения температуры.
- избегать «термопробок» и «застойных мест». Не пытаться направить тёплый воздух вниз – циркуляция воздуха в шкафу должна быть организована

на по направлению снизу вверх. Ни один вентилятор в шкафу не должен оказаться ниже уровня подачи холодного воздуха от кондиционера или теплообменника. Кондиционеры или теплообменники, монтируемые на потолок шкафа, обязательно доукомплектовать рукавами для подачи холодного воздуха в нижнюю часть шкафа.

- не устанавливать оборудование в шкаф так, чтобы оно оказалось отделено от кондиционера монтажной панелью.
- не устанавливать оборудование в шкафу на расстоянии менее 20 см от входных или выходных патрубков кондиционера.
- расстояние от внешней поверхности кондиционера до стены помещения или до поверхности соседнего кондиционера при монтаже на шкафы, образующие ряд, должно составлять не менее 40 см.
- трубка для отвода конденсата должна быть проложена с уклоном только вниз. При наращивании трубки не допускается уменьшение её поперечного сечения.

Контрольные вопросы

1. Поясните цель климатизации электротехнических шкафов автоматизированных систем.
2. Какие типы агрегатов теплообмена используются для обеспечения необходимых условий в электротехнических шкафах.
3. Поясните расчёт теплового баланса шкафа.
4. Как устанавливаются устройства активной вентиляции?
5. Как обозначаются в документации теплообменники для электротехнических шкафов?
6. Охарактеризуйте системы обратного охлаждения.
7. Какую роль играет влажность в обеспечении требуемых условий внутри шкафа?
8. Сформулируйте основные рекомендации для обеспечения требуемых климатических условий в электротехнических шкафах.

15. ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Некоторые технические решения с использованием *IBM PC* совместимых контроллеров на базе сетей *Ethernet*, *PROFIBUS*, *CAN* и других технологий представлены на рис. 15.1-15.2. *PC-based* контроллеры программируются с помощью *SCADA*-систем, например, *Trace Mode* или *UltraLogik*. Данные пакеты имеют открытый интерфейс, позволяющий программировать контроллеры практически любой конфигурации и создавать алгоритмы распределенных управляющих систем реального времени. Пакеты предназначены для работы в любых промышленных сетях *Fieldbus* и поддерживают стандарт *OPC* - сервер для связи со *SCADA* системами. Для создания *Soft-PLC* контроллеров на базе *VME PC* совместимых компьютеров с контроллерами *Fieldbus* и системами ввода-вывода может быть использован технологический язык программирования *IO Works*, также имеющий *OPC*-интерфейс для систем верхнего уровня.

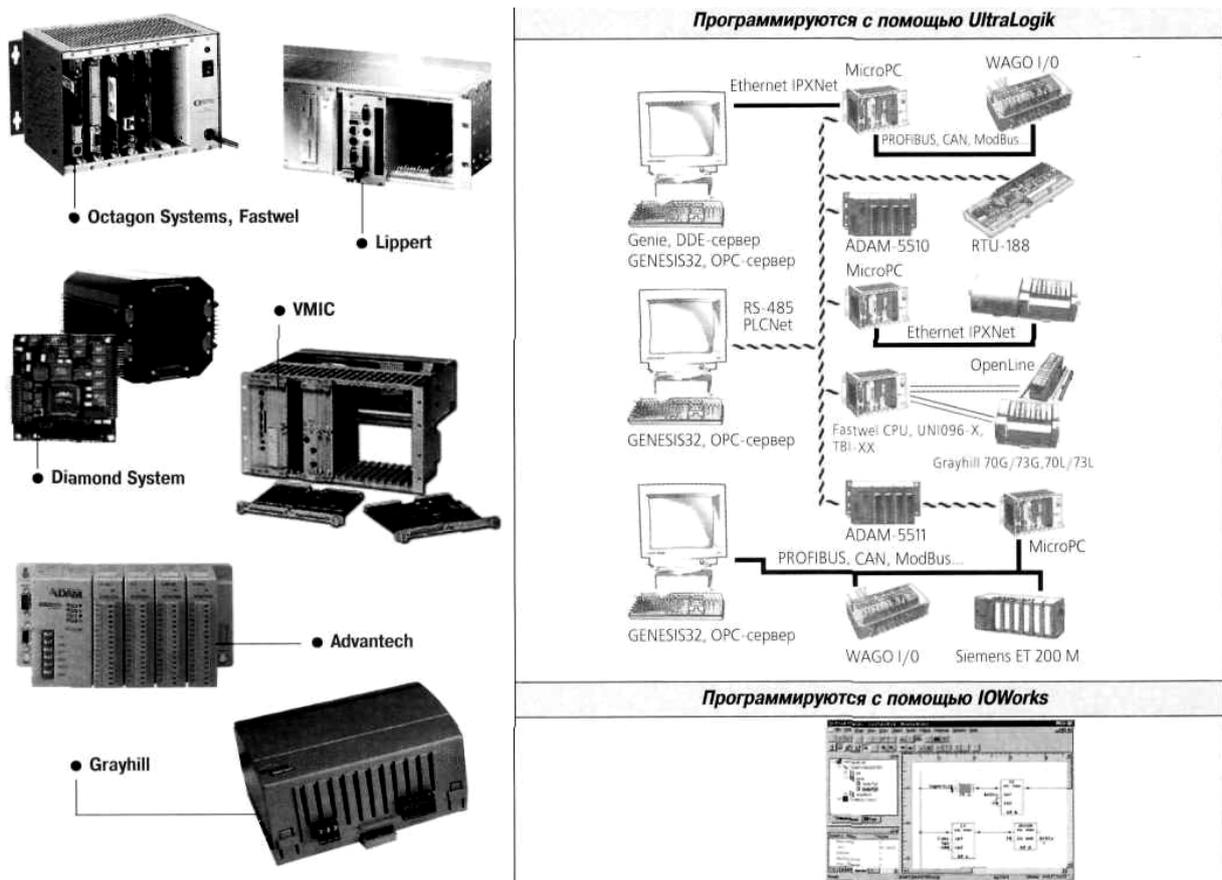


Рис. 15.1. *IBM PC* совместимые контроллеры для управления технологическими процессами

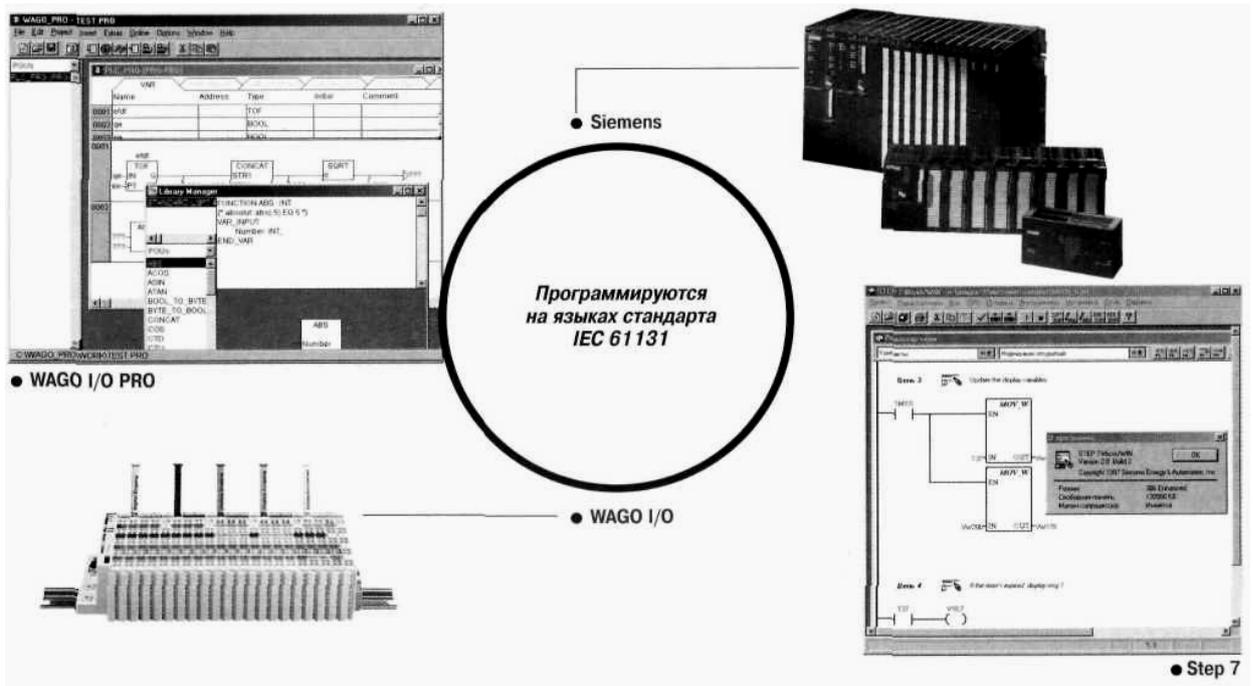


Рис. 15.2. Программируемые на стандартных технологических языках логические контроллеры

Распределенные управляющие системы могут быть созданы с помощью «внутренних» УСО на основе магистральных интерфейсов *ISA*, *PC/104*, *PCI*, *Compact PCI*, *VME* управляющих процессоров (рис. 15.3) или «выносных» интеллектуальных УСО на базе «полевых» шин *Ethernet*, *Fieldbus*, *RS-485*, *HART*, *AS*-интерфейсов (рис. 15.4).

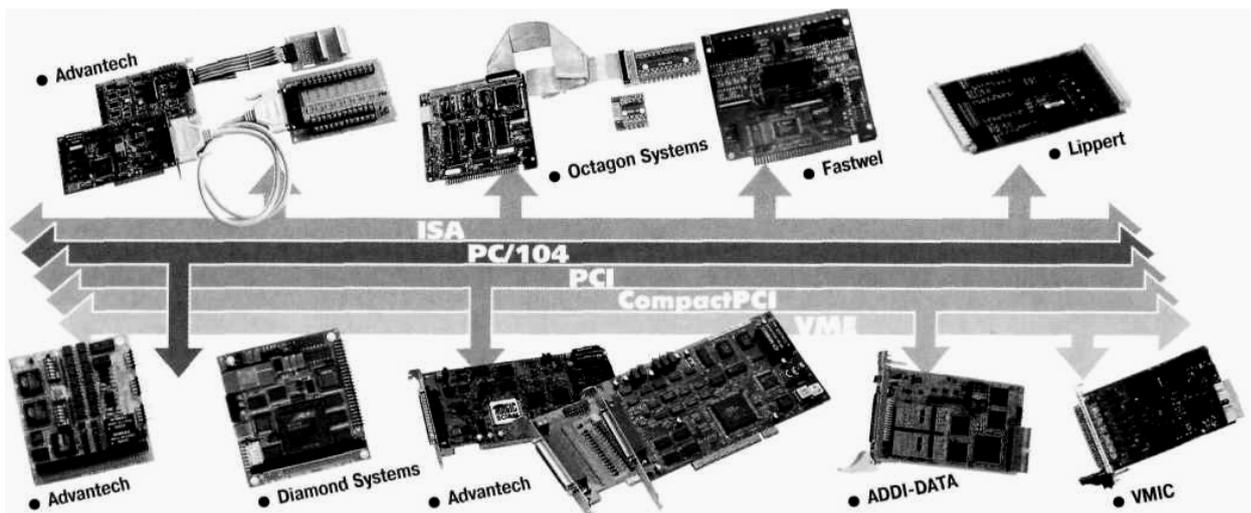


Рис. 15.3. Устройства ввода-вывода систем автоматизации - локальные УСО, работающие на магистрали управляющей системы

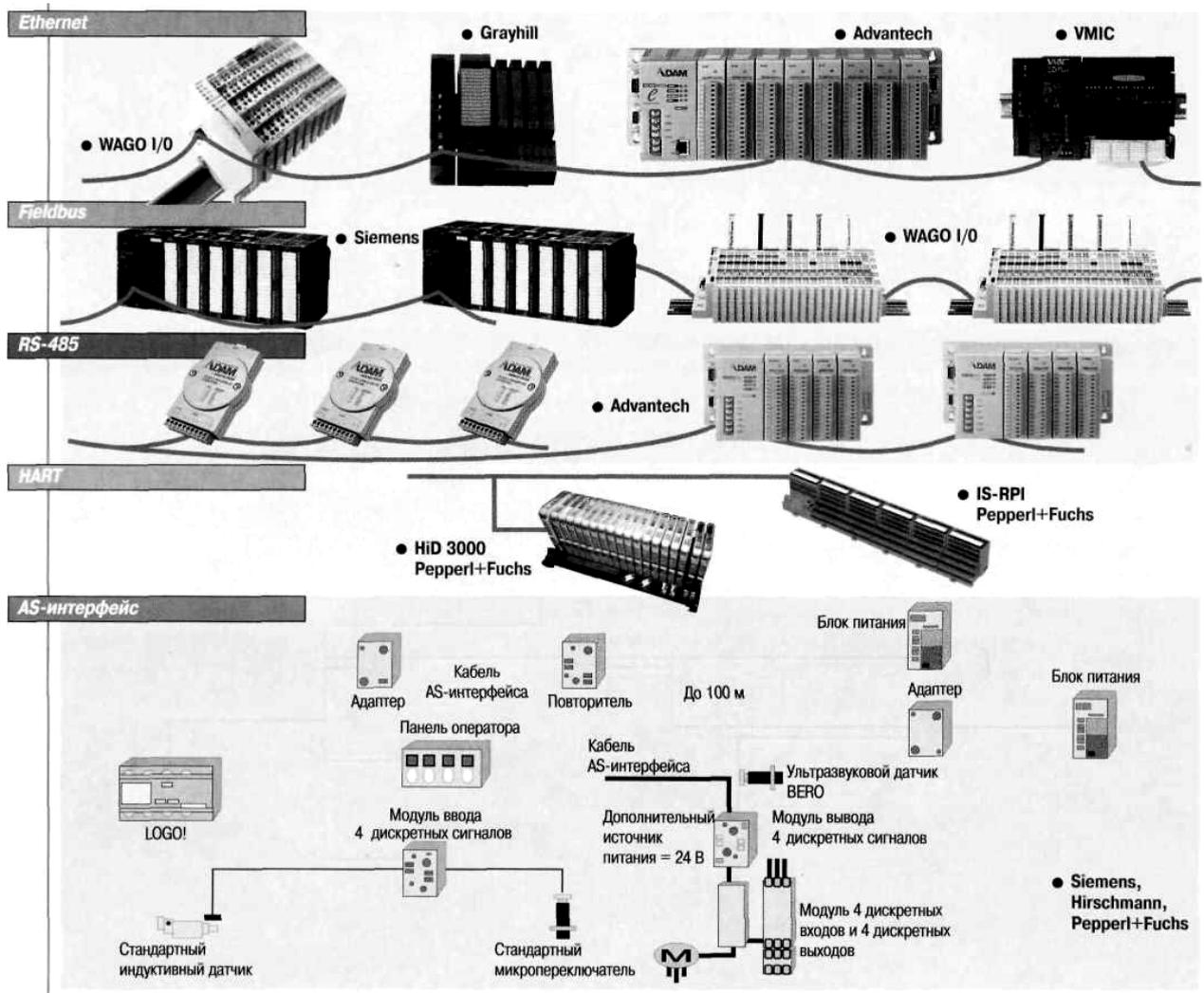


Рис. 15.4. Распределенная система управления на базе УСО, объединенных «полевыми» шинами

Для определения текущего состояния объекта управления используются аналоговые первичные преобразователи (датчики) с унифицированным выходным сигналом, с нестандартным выходным сигналом и интеллектуальные, т.е. с встроенным микропроцессором (рис. 15.5). Такие сигналы можно объединить в группу, называемой «аналоговым входом». Также имеет место «аналоговый выход» для воздействия регулятора на объект. Определение состояния объекта с параметрами характеризующимися положениями «Включено – выключено», «Открыто – закрыто» производится дискретными датчиками, сигналы с которых принято называть «дискретным входом». Аналогично дискретные сигналы для включения (открытия) или выключения (закрытия) исполнительных устройств объединяются в группу «дискретных выходов» (рис. 15.5). Помехоустойчивость и нормализацию сигналов обеспечивают модули гальванического разделения и нормирующие преобразователи (рис. 15.6).

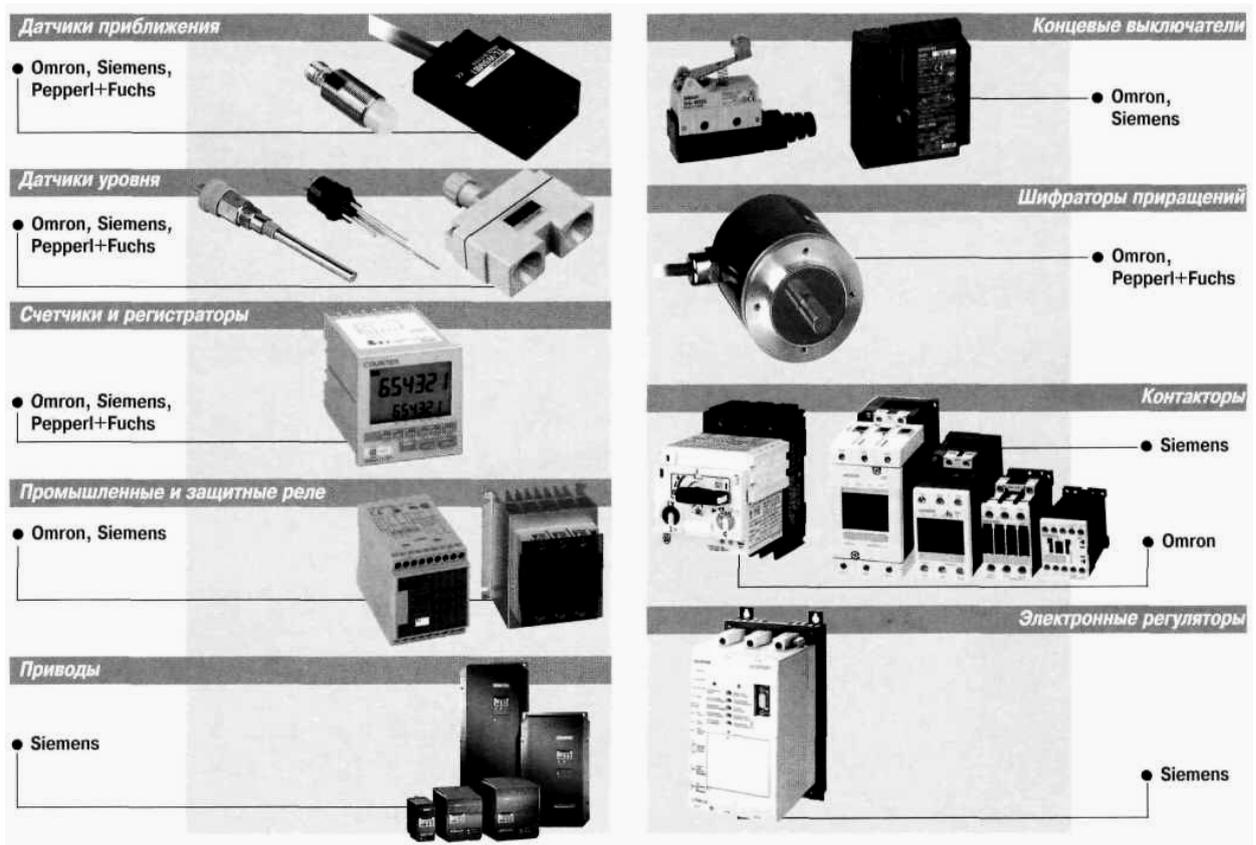


Рис. 15.5. Интеллектуальные датчики и исполнительные устройства автоматизированных систем

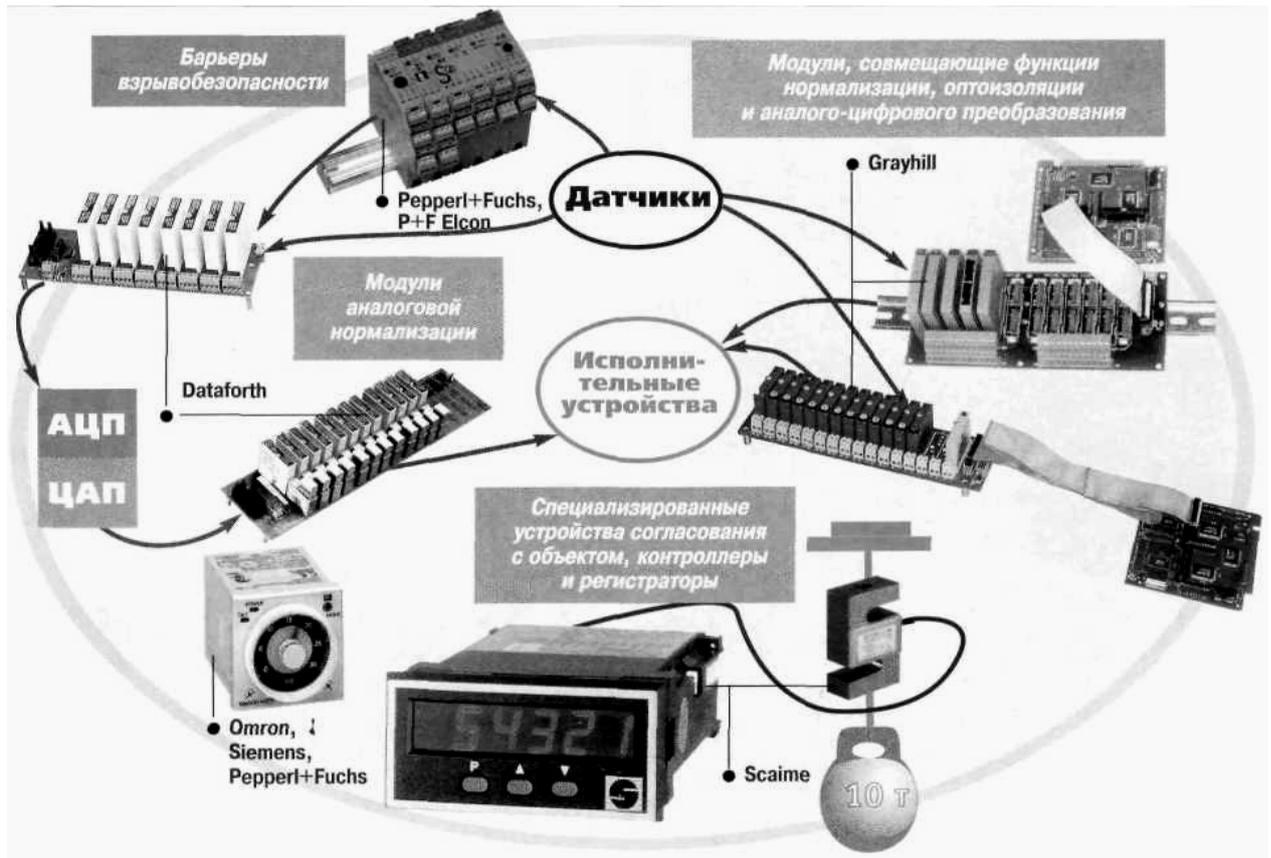


Рис. 15.6. Модули гальванической развязки и нормализации сигналов

Передача информации в распределённых системах управления обеспечивается интерфейсными модулями, физической средой передачи данных, управляющей системой и участниками сети (рис. 15.7).

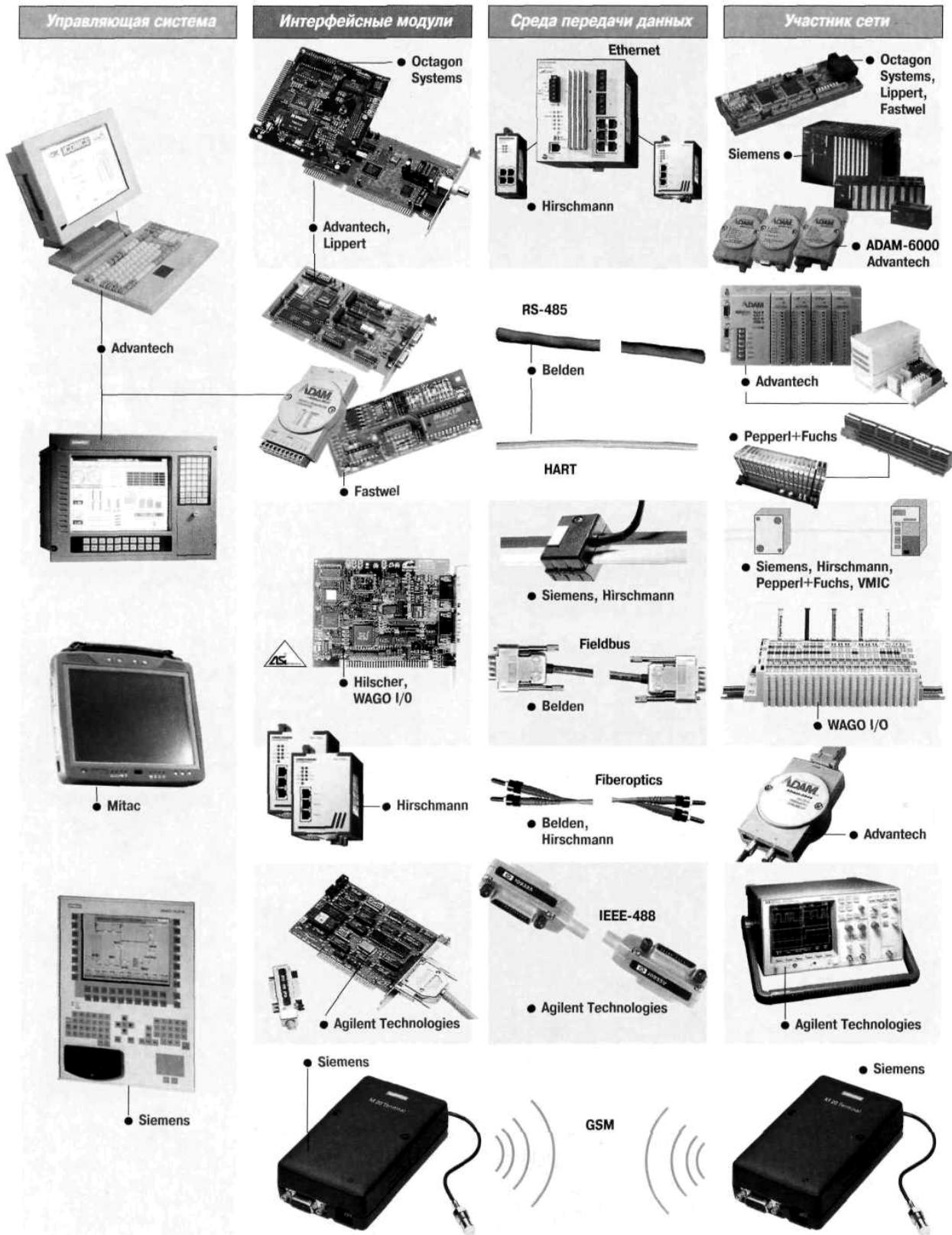


Рис. 15.7. Каналы передачи информации в распределённых системах управления

Для модернизации существующих автоматизированных систем устройства технического обеспечения могут встраиваться (рис. 15.8 - 15.11) в имеющиеся монтажные единицы (щиты, пульты, шкафы, шасси и др.).

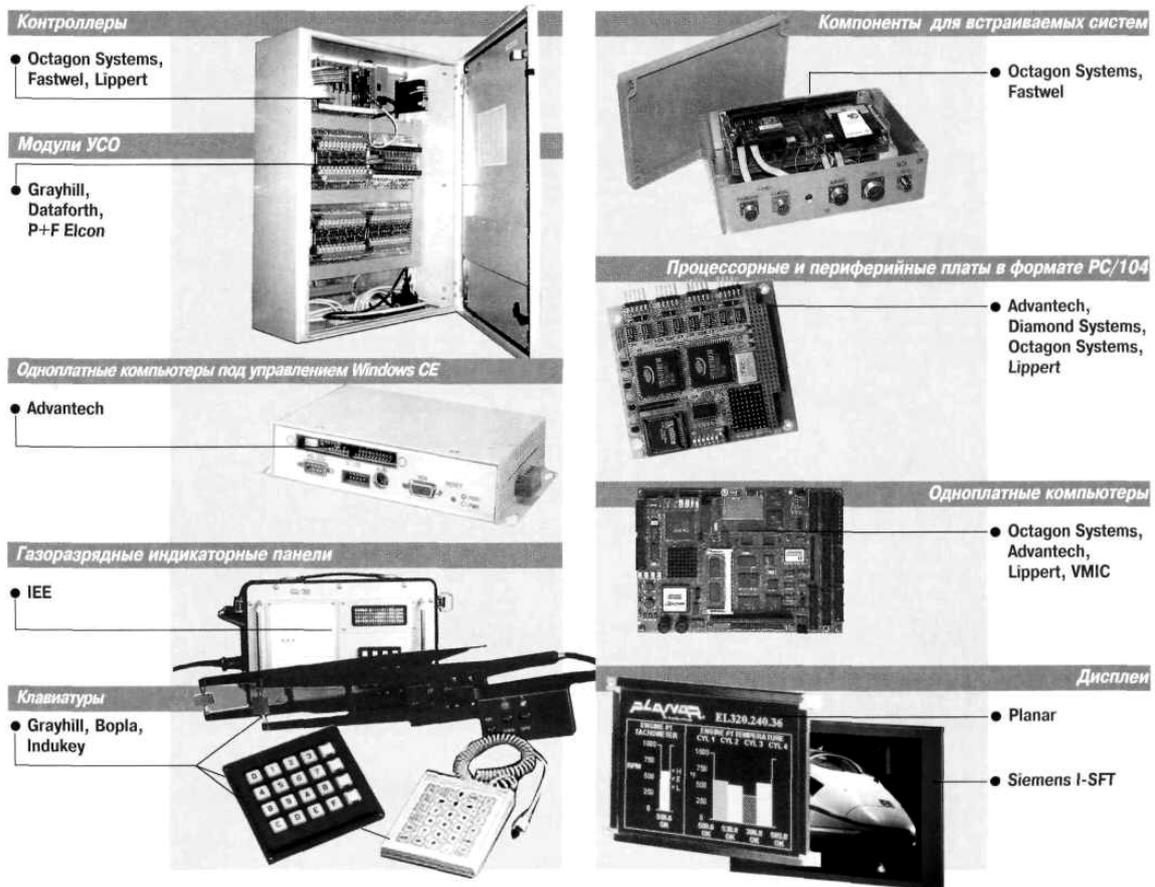


Рис. 15.8. Встраиваемые системы автоматизации

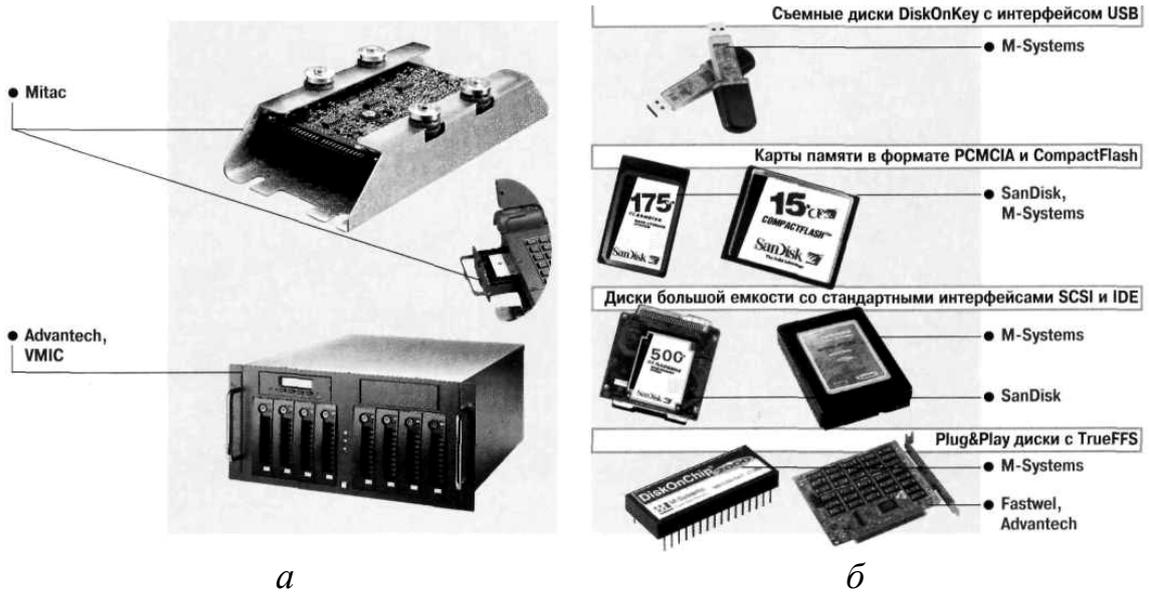


Рис. 15.9. Сбор и хранение информации в автоматизированных системах:
 а) механические накопители повышенной надежности;
 б) твердотельные накопители на базе микросхем флэш-памяти

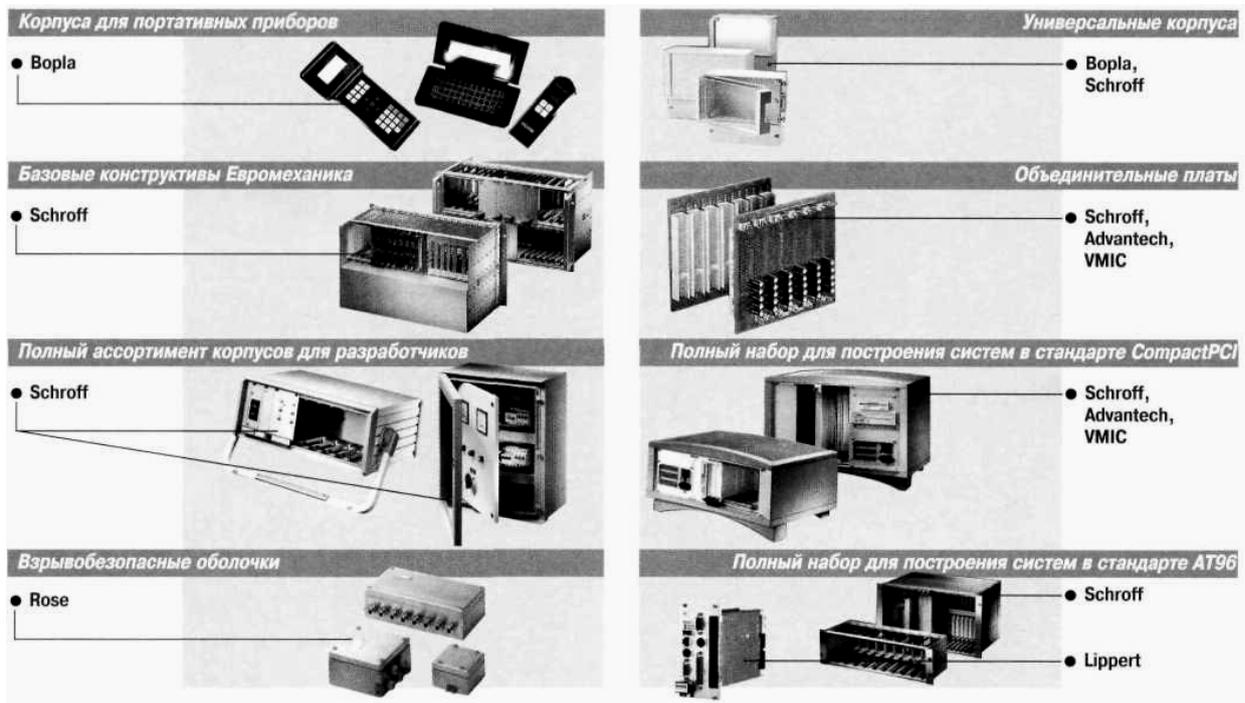


Рис. 15.10. Конструктивы и типовые корпуса для приборов и средств автоматизации, разрабатываемых пользователем



Рис. 15.11. Блоки и источники электропитания

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры *IBM PC* совместимых контроллеров для управления технологическими процессами.
2. Нарисуйте схему сетевой распределенной автоматизированной системы управления с использованием *PC-based* контроллеров.
3. Приведите примеры локальных (внутренних) интеллектуальных УСО, работающие на магистрали управляющей системы.
4. Нарисуйте схему распределенная система управления на базе интеллектуальных УСО, объединенных «полевыми» шинами.
5. Приведите примеры интеллектуальных датчиков и исполнительных устройств автоматизированных систем.
6. Приведите примеры модулей гальванической развязки и нормализации сигналов.
7. Приведите примеры интерфейсных модулей, физических сред передачи данных, управляющих систем и участников сети при передаче информации в распределённых системах управления.
8. Приведите примеры встраиваемых систем автоматизации.
9. Приведите примеры накопителей информации, корпусов, шасси и источников питания в автоматизированных системах.

16. ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП) относятся к человеко-машинным системам. Человеко-машинный интерфейс в автоматизированных системах реализуется с помощью операторской рабочей станции, представляющей собой обычно один или несколько мониторов (иногда с сенсорным экраном), клавиатуру, принтер и манипулятор-мышь (рис. 16.1, 16.2, а).

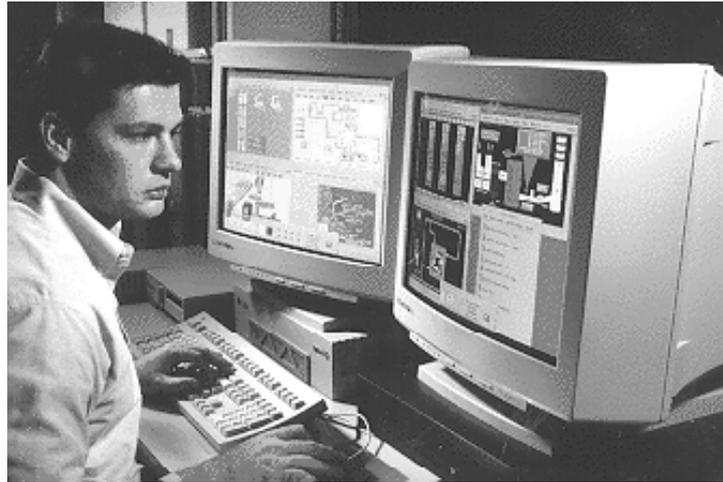


Рис. 16.1. Операторская рабочая станция

Операторская рабочая станция представляет собой обладающее высокой разрешающей способностью средство визуализации технологических процессов, использующее управляющую графику, диагностику, тренды, аварийную сигнализацию и видеogramмы состояния оборудования. Работающая под управлением операционной системы операторская рабочая станция обеспечивает доступ к динамическим параметрам системы, количество которых может достигать нескольких тысяч, отображает архивные данные, общие сообщения, отчеты о технологических событиях, а также контролирует эксплуатационные операции посредством сложной системы аварийной сигнализации. Операторская рабочая станция производит обмен данными с другими устройствами через высокоскоростную сеть, что обеспечивает точность и непрерывность технологической информации.

Основными инструментами отображения данных реального времени являются технологические видеogramмы, обладающие большой разрешающей способностью и высокой скоростью обновления информации, окна аварийной сигнализации и другие средства графического пользовательского интерфейса, облегчающие обзор и анализ текущих и архивных технологических данных. Иконки или меню на мониторе дисплея обеспечивают доступ к стандартным операторским функциям, включая аварийную сигнализацию, средства конфигурации, настройку алгоритмов и заказные технологические видеogramмы.

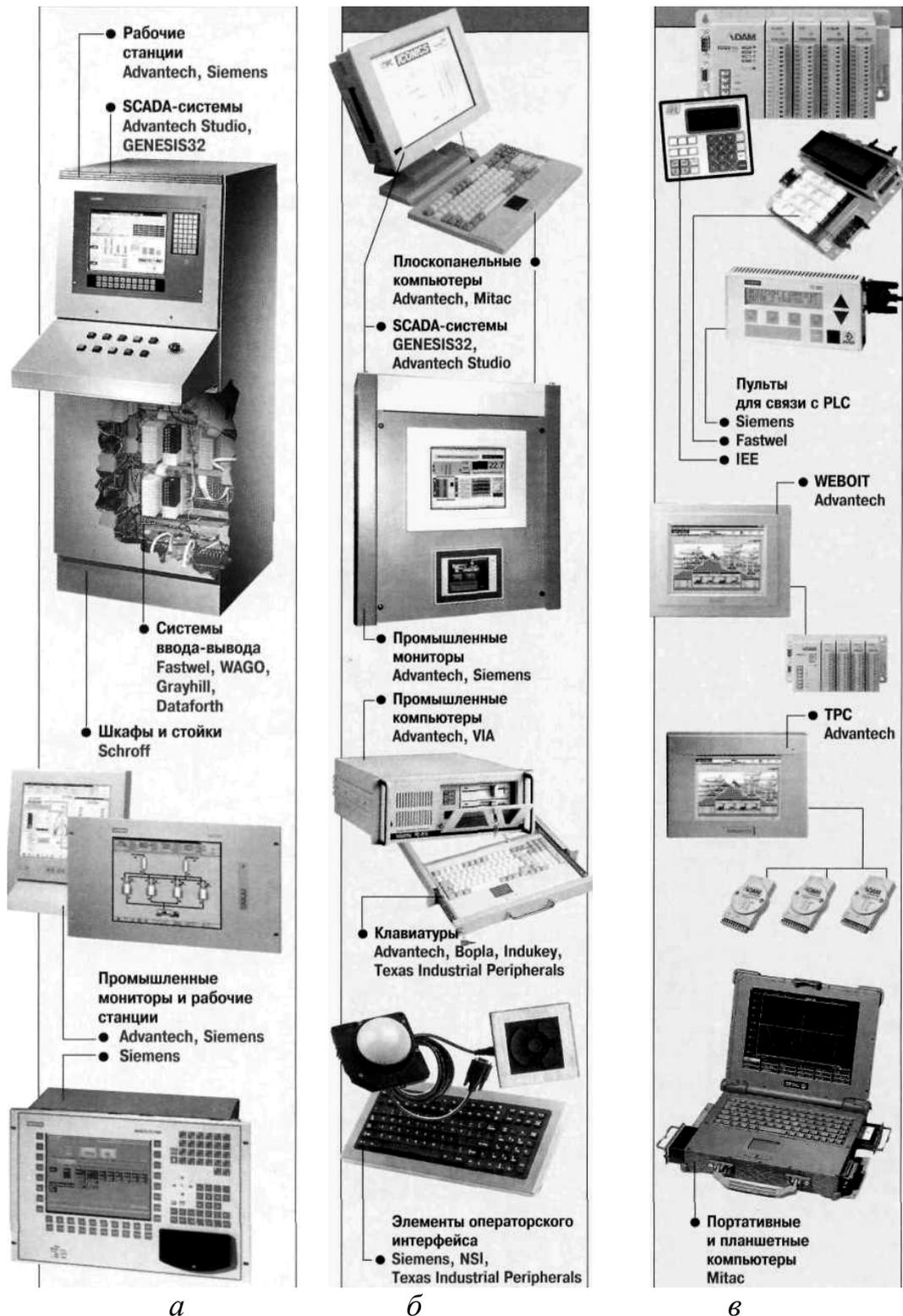


Рис. 16.2. Основные типы человеко-машинного интерфейса:
 а) централизованная АСУ с управляющей подсистемой и системой ввода-вывода и отображения; б) верхний уровень в распределенной системе АСУ; в) системы визуализации процессов

Стандартные функции операторской рабочей станции:

- отображение системы технологических видеogramм;
- управление аварийной сигнализацией;
- построение трендов (графиков и таблиц);
- вывод информации о технологических параметрах;
- просмотр технологических параметров;
- сообщения о действиях оператора.

Технологические видеogramмы организуют и отображают большие объемы технологической информации с использованием графики высокого разрешения и современных методов отображения. Цвет, форма и размер элементов видеogramмы указывают на то, какие работающие приложения связаны с выбранным параметром (например, тренд, информация о параметре или другая видеogramма). Текущие значения параметров в пределах технологических видеogramм идентифицируют состояние объекта (рис. 16.3).

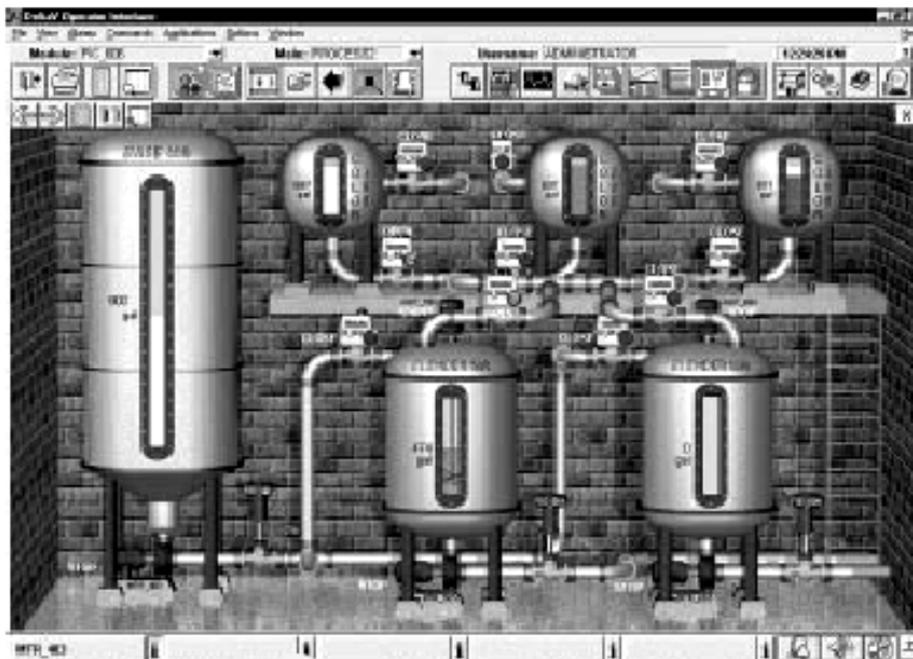


Рис. 16.3. Пример видеogramмы

Окно, содержащее активную технологическую видеogramму, может быть сжато, увеличено или перемещено для того, чтобы отображать информацию нужного размера в нужном месте. Для выполнения различных функций оператор может одновременно открыть до восьми окон. Стандартные функции управления отображением включают активизацию окна, постраничное пролистывание, изменение масштаба и панорамирование изображения.

Заказные видеogramмы (например, разрабатывается с использованием основанного на *CAD* пакета *Graphics Builder* на инженерной рабочей станции) хранятся на жестком диске операторской рабочей станции. Видеogramмы могут быть доступны для отображения на всех операторских рабочих станциях или быть назначенными только конкретным станциям.

Система управления аварийной сигнализацией включает в себя целевые приложения, идентифицирующие технологические нарушения на объекте и позволяющие пользователю выполнять обзор и квитирование технологических параметров, находящихся в аварийном состоянии.

Список аварийных сигналов отображает все текущие аварийные сигналы в обратном хронологическом порядке. Аварийные сигналы обрабатываются каждую секунду. Когда окно системы аварийной сигнализации на экране закрыто, новое аварийное событие изменит цвет иконки системы аварийной сигнализации.

Изменения статуса аварийных сигналов отражаются в списке аварийных сигналов (выход из аварийного состояния также может отображаться, но только для специфических параметров, определенных в ходе конфигурации системы). Оператор может квитировать выбранный аварийный сигнал посредством нажатия кнопки «квитировать» (*acknowledge*) в окне, содержащем перечень аварийных сигналов, или на операторской клавиатуре, поставляемой опционально.

Архивный («исторический») список аварийных сигналов отображает последние аварийные события в обратном хронологическом порядке, включая возвращения из аварийного состояния, нарушения последовательных уставок с приращением и изменения состояния цифровых сигналов.

Перечень неквитированных аварийных сигналов отображает неквитированные аварийные сигналы, упорядоченные в хронологическом порядке. Когда возникает новое аварийное событие, оператор может квитировать выбранный аварийный сигнал посредством нажатия кнопки «квитировать» (*acknowledge*) в окне, содержащем перечень аварийных сигналов, или на операторской клавиатуре. Квитированные аварийные сигналы удаляются из перечня неквитированных аварийных сигналов.

Список сбрасываемых аварийных сигналов идентифицирует все возвраты в нормальное состояние, которые могут быть сброшены (очищены) оператором. Сброшенные оператором возвраты аварийных сигналов будут удаляться как из перечня аварийных сигналов, так и из перечня сбрасываемых аварийных сигналов.

Иконные аварийные сигналы служат для группирования аварийных сигналов по приоритетам и зонам технологического объекта, с которыми связаны соответствующие им параметры. Группы аварийных сигналов представляются небольшими графическими иконками, отображаемыми в окне иконных аварийных сигналов.

Каждая иконка связана с технологическими видеодиаграммами, включающими параметры из данной группы. Это позволяет оператору быстро отображать информацию, связанную с аварийной ситуацией.

Каждое приложение системы аварийной сигнализации может быть прослежено по происхождению и приоритету.

Звуковая аварийная сигнализация – Подсистема звуковой аварий-

ной сигнализации выдает звуковой сигнал при возникновении аварийного состояния, указывая оператору на то, что один или несколько параметров находятся в аварийном состоянии и требуют внимания.

Непрерывная звуковая сигнализация работает до тех пор, пока оператор не произведет квитирование, нажав на иконку с изображением колокола. Каждому приоритету присвоены сигналы разной тональности. Если возникает более одного аварийного сигнала, то звук будет соответствовать сигналу с наивысшим приоритетом. Система непрерывной звуковой сигнализации может работать автономно, или устанавливаться на операторскую рабочую станцию, или работать на несколько рабочих станций одновременно. Для разных значений приоритетов или технологических зон могут быть определены сигналы различной тональности.

Квитирование аварийных сигналов – эта функция квитирует аварийный сигнал, что указывает на то, что оператор знает об аварийном состоянии или подтверждает, что за этим последует его действие.

Снятие аварийных сигналов – снятие аварийного сигнала снимает неквитированный аварийный сигнал с тем, чтобы впоследствии его можно было удалить из перечня аварийных сигналов.

Построение трендов. Тренды в графической или табличной форме отображают наборы полученных через системную сеть текущих или архивных данных, соответствующие заданному оператором интервалу времени. Операторы могут строить индивидуальные группы трендов для быстрого доступа к предопределенному набору технологических параметров. Могут вычисляться математические обобщающие значения для каждого интервала времени (максимумы, усредненные значения или интегральные суммы), которые затем отображаются в виде трендов.

Информация о технологических параметрах позволяет оператору обращаться к полным записям системной базы данных, относящимся к выбранным технологическим параметрам. Если пользователь имеет соответствующие полномочия, то он может корректировать атрибуты параметров (статус сканирования, аварийный статус, аварийные уставки и др.).

Функция просмотра технологических параметров позволяет пользователю обращаться к информации о параметрах, например, имеющих некоторые общие свойства, текущее состояние или качественные характеристики. Уполномоченные пользователи могут корректировать эксплуатационное состояние параметра.

Сообщения о действиях оператора. При выполнении оператором определенных действий операторская рабочая станция генерирует сообщения об этих действиях и с присвоенной меткой времени направляет их по сети на выделенную станцию архивной регистрации событий.

Возможен последующий доступ к сообщениям о действиях операторов для их отображения на дисплее или вывода на локальное печатающее устройство. Каждое сообщение о действии оператора содержит указание на вид действия, дату и время, а также описание произведенного действия.

Другие виды операторского интерфейса представлены на рис. 16.2, б, в.

Контрольные вопросы

1. Как реализуется человеко-машинный интерфейс в автоматизированных системах?
2. Сформулируйте стандартные функции операторской рабочей станции.
3. Поясните технологические видеодиаграммы, как инструмента отображения данных реального времени.
4. Дайте пояснение функции управления аварийной сигнализацией операторского интерфейса.
5. Сформулируйте цель построения трендов.
6. Поясните функцию просмотра технологических параметров операторского интерфейса для пользователей различного уровня.
7. Приведите примеры человеко-машинного интерфейса для различных уровней автоматизированного управления.

17. ЗАМЕНА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПИТАНИЯ

Основное требование к современным системам автоматического управления – безотказность. Вопросам надежности уделяется повышенное внимание там, где выход системы из строя приводит к большим экономическим потерям, возникает угроза здоровью людей и экосистеме.

Важно не только то, чтобы отказы происходили как можно реже, но и то, чтобы в случае, если отказ все-таки произошел, время простоя (время восстановления) было минимальным. Тривиальный метод повышения надежности всей системы – это использование при ее построении наиболее надежных компонентов. Для этого разработчики стараются закладывать в систему узлы и устройства, производимые компаниями с хорошей репутацией, применяют современные технологии (например, заменяют механические *HDD* на флэш-диски), проводят входной контроль и испытания применяемых изделий и т.п.

Наиболее кардинальным и распространенным способом повышения надежности на системном уровне является резервирование. Применяется двукратное или многократное резервирование либо системы в целом, либо ее наиболее важных или наиболее «слабых», с точки зрения надежности, частей. В случае «горячего» резервирования отказ парируется практически мгновенно, так как переход на резервный комплект оборудования происходит «незаметно» и не отражается на функциональных возможностях системы.

Применение резервирования во многих случаях по разным причинам (чаще всего экономическим) не является оправданным. В этом случае приходится мириться с последствиями отказов, но можно предпринять ряд мер, чтобы время восстановления было минимальным. В общем случае эти меры должны быть комплексными организационно-техническими. Технические решения в этой области направлены прежде всего на обеспечение возможности замены отказавших элементов системы без отключения питания («*hot swap*», «*hot plug*», «*live insertion*», или «горячая» замена) [12].

Решение о применении какого-либо способа повышения надежности или их комбинации следует принимать, исходя из анализа системы в целом, с учетом последствий отказов. Например, функция «горячей» замены может оказаться совершенно бесполезной, если даже кратковременный выход из строя какого-либо модуля равносителен выходу из строя всей системы. Такая ситуация приводит к потере управления технологическим объектом, когда в любом случае необходим его аварийный останов. Также «горячая» замена неоправданна там, где модули не имеют развитых средств самодиагностики, потому что время, затрачиваемое персоналом на поиск неисправного модуля, может в результате «съесть» всю экономию, достигаемую на операции собственно замены модуля. Полученная экономия также может оказаться не во всех случаях существенной. На практике с учетом человеческого фактора

подготовительные действия по замене модуля могут составить 10-15 минут, в то время как сама замена занимает 1-2 минуты. Как правило, современные встраиваемые системы после включения питания запускаются достаточно быстро, поэтому добавление 1-2 минут на выключение, а затем включение питания увеличит длительность ремонта всего на 5 – 10 %. В распределенных АСУТП система питания также является распределенной и позволяет локально отключать питание только в той части системы, которая содержит отказавший модуль. То есть рентабельность таких мероприятий может оказаться весьма низкой.

Существует много стандартных и частных подходов к вопросу «горячей» замены, однако возникающие проблемы и пути их решения в основном созвучны. К основным проблемам, которые приходится решать при разработке аппаратуры с функцией «горячей» замены, можно отнести:

- электростатический заряд, носителем которого может быть как подключаемый к системе элемент, так и производящий подключение человек, может вызывать повреждение электронных компонентов системы;
- некоторые электронные компоненты при включении выходят из строя, если нарушается определенная последовательность подачи сигналов на их входы;
- изменение нагрузки при «горячем» подключении элементов может вызывать скачкообразные изменения питающего напряжения, влияющие на функционирование системы;
- «горячее» подключение элементов к системной магистрали может вызывать нарушение транзакций на ней;
- система должна обладать способностью к динамической реконфигурации, т.е. вновь устанавливаемые элементы должны автоматически заноситься в список системных ресурсов, а демонтируемые – удаляться из него.

Некорректное решение любой из этих задач может стать причиной выдачи ложного управляющего воздействия на объект управления или выхода из строя системы.

Защита от статического электричества. Одна из часто встречающихся причин выхода из строя электронного оборудования – электростатический пробой, возникающий в результате передачи статического заряда между поверхностями с различными потенциалами. Носителем статического заряда может являться человек, производящий замену модулей (заряд, накапливаемый человеком, может достигать 20 кВ). Не случайно одним из пунктов испытаний на электромагнитную совместимость, которым в обязательном порядке подвергаются все вновь разрабатываемые приборы и системы, является испытание на устойчивость к воздействию электростатического заряда. В соответствии с ГОСТ Р 29191-91 (МЭК 801-2) разряд прилагается к следующим испытательным точкам:

- винтам крепления внутри и снаружи электротехнического корпуса;
- проводящим поверхностям органов управления;

- лицевым панелям блоков и модулей.

Амплитуда испытательных импульсов зависит от назначения и условий применения изделия. Например, отказоустойчивая система, предназначенная для использования на железнодорожном транспорте и непосредственно обеспечивающая безопасность движения поездов, должна согласно ГОСТ 50656-94 выдерживать без прекращения функционирования воздействие контактных электростатических зарядов с амплитудой напряжения импульса 4 кВ.

Снятие электростатического заряда происходит при прикосновении к заземленной поверхности, в качестве которой в данном случае выступает лицевая панель модуля. Средства, используемые для «сброса» статического заряда в процессе извлечения модуля из субблока и его установки в субблок, несколько отличаются. Поэтому удобно рассматривать две стадии замены модуля отдельно.

Защита от статического электричества при извлечении модуля из субблока. Для эффективного снятия заряда при извлечении модуля должен быть обеспечен надежный электрический контакт:

- между рукой оператора и лицевой панелью модуля;
- между лицевой панелью модуля и металлическими деталями субблока;
- между деталями субблока и точкой подключения защитного заземления к корпусу шкафа или стойки.

Необходимым условием обеспечения электрического контакта между оператором и лицевой панелью модуля является рациональный выбор ее материала и покрытия. Для изготовления лицевых панелей используются материалы, обладающий высокой электропроводностью (например, анодированный алюминий).

Защита от статического электричества в процессе установки модуля в субблок. В процессе установки в субблок нового модуля необходимо избавиться от электростатического заряда раньше, чем произойдет соединение ответных частей разъемов. Эта задача решается за счет использования антистатических пружинных контактов и скользящих *ESD*-контактов (*ESD – Electrostatic Discharge contacts*). *ESD*-контакты размещаются на направляющих субблока и соединяются с его заземленными металлическими частями. Вдоль края печатной платы модуля должна располагаться металлизированная полоса, состоящая из трех сегментов. Передний сегмент должен быть электрически соединен с лицевой панелью. В процессе перемещения платы по направляющей сегменты поочередно соприкасаются с *ESD*-контактом. При этом происходит отдельный сброс электростатического заряда с передней панели (и, следовательно, держащего ее оператора) и цепей питания модуля.

Соблюдение необходимой последовательности подачи питающих напряжений. Часто электронные компоненты, используемые в модулях, требуют соблюдения определенной последовательности подачи сигналов. В частности, если на информационных входах КМОП ИС сигналы появятся раньше, чем будет подано питающее напряжение, микросхема может выйти

из строя в результате «эффекта защелкивания» – переключения в открытое состояние паразитных биполярных структур, которые образуются во входных и выходных КМОП-каскадах. Результатом «защелкивания» является появление низкоимпедансной цепи между шинами питания, резкое повышение температуры микросхемы и выход ее из строя. В процессе «горячего» подключения и отключения платы с КМОП ИС возникает типичная ситуация, провоцирующая «защелкивание». Соединение/разъединение сигнальных цепей и цепей питания происходит в случайном порядке, зависящем от многих факторов: от угла, под которым вставляется/извлекается плата, от наличия микродефектов, степени загрязненности контактов разъема и т.д. Решением проблемы предотвращения «защелкивания» является использование для подключения питания отдельных разъемов с удлиненными контактами.

Предотвращение «бросков» питающих напряжений. Удлиненные контакты обеспечивают решение еще одной проблемы: в процессе «горячей» замены конденсаторы подключаемого «холодного» модуля заряжаются стремительно нарастающим током, протекающим через контакты питания. Если в модуле нет специальных схем для ограничения этого тока, то его величина определяется исключительно сопротивлением и индуктивностью печатных проводников.

Динамическое конфигурирование системы. Под динамическим конфигурированием в данном случае понимается автоматическое распознавание, инициализация, тестирование и включение в работу вновь подключенных модулей, а также исключение неисправных модулей из списка системных ресурсов.

Для организации автоматического конфигурирования необходимо информировать операционную систему (или прикладную программу) о намерении оператора извлечь какой-либо модуль или подключить новый. С этой целью на каждом модуле может быть установлен микропереключатель, механически связанный с рукояткой экстрактора. Механизм должен обеспечивать замыкание контактов переключателя до того, как извлекаемый модуль начнет перемещаться по направляющей, и их размыкание после того, как вновь устанавливаемый модуль займет свое место и будет надежно зафиксирован в субблоке.

Замыкание контактов микропереключателя может служить сигналом для инициализации модуля, а размыкание – для перевода в отключенное «безопасное» состояние. Перевод модуля в безопасное состояние (например, за счет установки в третье состояние выходов его шинных формирователей) во время его отключения/подключения к системной магистрали может предотвратить искажение передаваемых по ней сигналов. Разумеется, последнее возможно далеко не всегда и определяется характером неисправности модуля.

Для операционной системы (или прикладной программы) срабатывание микропереключателя в любом из модулей может служить сигналом о необходимости произвести опрос программно доступных регистров состояния

модулей с целью уточнения списка системных ресурсов.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип «горячей замены» в повышении надежности автоматизированных систем?
2. Сформулируйте основные проблемы, которые решаются при разработке аппаратуры с функцией «горячей» замены.
3. Какие пути защиты от электростатического пробоя электронной аппаратуры используются при использовании «горячей замены»?
4. Поясните принцип соблюдения необходимой последовательности подачи питающих напряжений в аппаратуру.
5. Поясните принцип предотвращения «бросков» питающих напряжений.
6. Охарактеризуйте принцип динамического конфигурирования системы.

18. ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АСУТП ДЛЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

АСУТП реализована [13] на основе полевых контроллеров и модулей УСО, позволяющих создавать распределенные системы управления.

Управление турбиной ведется с помощью микропроцессорной АСУТП, выполненной на основе программно-технического комплекса фирмы *ABB* с использованием полевых контроллеров типа *AC800F*. Модули УСО серии *S800* связаны с контроллерами по промышленной шине *PROFIBUS*. Программное обеспечение разработано в среде разработки *CONTROL BUILDER F*.

В системе контролируется около 200 аналоговых параметров и 400 дискретных входных и выходных сигналов.

Система управления турбоустановки включает следующие компоненты.

1) Датчики измеряемых аналоговых и дискретных сигналов, исполнительные устройства, включающие в себя запорную и регулируемую арматуру, сборки РТЗО для подключения арматуры.

2) Шкаф технологических защит, выполненный на малогабаритных реле.

3) Микропроцессорные контроллеры (МПК) с модулями УСО для сбора и первичной обработки измеряемых параметров; реализации команд дистанционного управления; автоматического регулирования; блокировок. МПК с модулями УСО связаны полевой шиной типа *PROFIBUS-DP*.

4) Операторские станции (IBM-совместимые персональные компьютеры) для управления процессом. МПК и операторские станции объединены по локальной вычислительной сети (ЛВС) типа "промышленный *Ethernet*".

5) Инженерная станция, обеспечивающая разработку и загрузку программного обеспечения АСУТП. Кроме того, через инженерную станцию осуществляется связь с общестанционной сетью *Ethernet*, позволяющая через ОРС-сервер передавать данные о технологическом процессе в систему верхнего уровня.

Структурная схема системы управления ТГ-1 приведена на рис. 18.1.

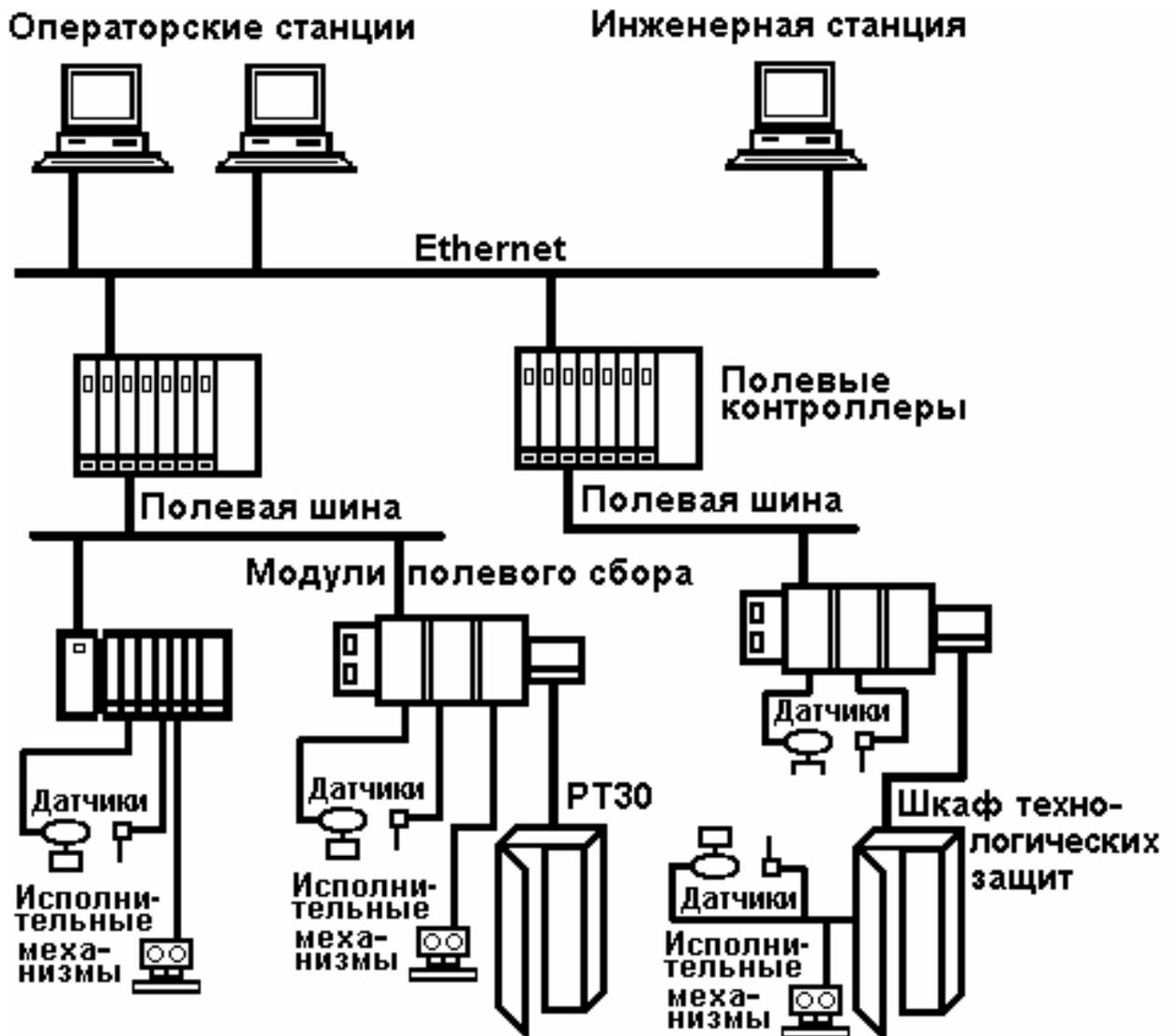


Рис. 18.1. Структура АСУТП

В АСУТП реализованы следующие основные функции:

- сбор и первичная обработка входной информации, контроль достоверности информации;
- отображение оперативной и расчетной информации на экранах операторских станций;
- дистанционное управление для реализации команд оператора по управлению технологическим процессом (управление электроприводными задвижками, электродвигателями механизмов, исполнительными механизмами регулирующей арматуры);
- автоматическое регулирование;

- технологическая сигнализация;
- архивация информации, хранение и предоставление ретроспективной информации;
- анализ действия защит;
- контроль за действиями оперативного персонала;
- протоколирование информации, составление отчетов.

Наблюдение за процессом и управление оборудованием осуществляется с операторских станций (ОС). ОС представляют собой *IBM* совместимые компьютеры, работающие под *WINDOWS NT 4.0*. На экраны ОС загружаются мнемосхемы, отражающие основные составляющие технологического процесса.

Использование различных визуальных эффектов (отображение цветом состояния оборудования, анимация параметров на мнемосхемах при выходе за уставки технологической сигнализации и др.) позволяет оператору легко ориентироваться в процессе.

Выбор оборудования, все действия по управлению процессом осуществляются с операторской станции манипулятором типа «мышь». Воздействие на оборудование (включение и отключение электродвигателей, открытие и закрытие арматуры) осуществляется «мышью» с помощью специальных панелей управления, содержащих необходимые кнопки и данные о состоянии оборудования (открываются при выборе соответствующих элементов мнемосхемы).

Для сигнализации в верхней части экрана выделена специальная зона, в которой появляются сообщения. Полный перечень сообщений в хронологическом порядке с индикацией зон и приоритетов может быть выведен на экран. Кроме того, все сообщения сохраняются в журнале и архивируются. Пример мнемосхемы приведен на рис. 18.2.

Реализация алгоритмов сбора и обработки сигналов, автоматического регулирования, автоматического включения и отключения оборудования, блокировок ведется в МПК.

Технологические защиты выполнены на малогабаритных реле. Хотя используемый ПТК позволяет проводить дублирование контроллера и полевых устройств для реализации защит, анализ показал, что в данном проекте из-за относительной простоты алгоритмов защиты использование традиционных средств более экономично. Фиксация информации о защитах осуществляется в МПК.

В МПК поступают дискретные входные сигналы о срабатывании и отключенном состоянии технологических защит. Фиксация первопричины срабатывания защит также производится в МПК.

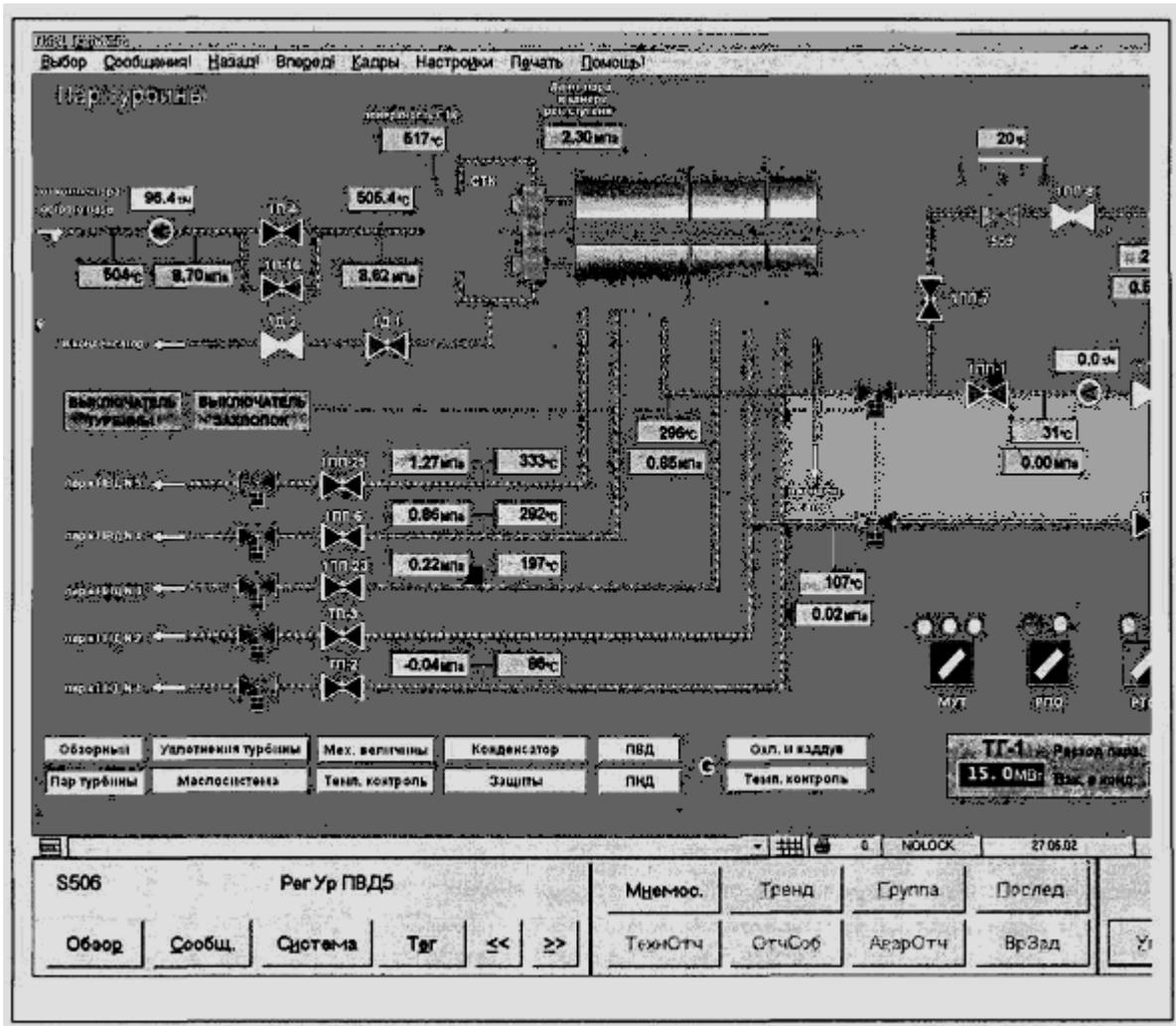


Рис. 18.2. Пример экрана операторской станции

В схеме защиты формируется сигнал в МПК "Сработало выходное реле защиты". В защите, построенной по схеме "два из двух" формируется сигнал в МПК "Сработал один из двух датчиков". Для проведения опробования технологических защит предусматривается снятие действия защиты на исполнительные устройства специальным тумблером. В схеме защиты формируется сигнал в МПК "Защита отключена". Автоматический ввод-вывод защит служит для запрета действия ряда защит, если возникновение условий срабатывания данных защит не опасно для турбины, а также для последующего ввода защит при работе турбины. В схеме защиты формируется сигнал в МПК "Защита введена".

В системе используется единый инженеринговый инструмент для конфигурирования операторских станций и МПК с автоматическим генерированием полной связи; единая унифицированная база данных; мощный аппарат комплексного контроля программ; стандартный (*IEC 61131-3*) графический язык программирования; мощный инструмент конфигурирования структуры технических средств.

Система позволяет гибко использовать модули полевого сбора, исполь-

зующие различные промышленные шины. Это достигается возможностью расширения МПК соответствующими интерфейсными модулями (*MODBUS*, *CAN* и т.д.)

ОС и МПК связаны друг с другом через системную шину на основе *Ethernet* по протоколу *TCT/IP*.

В качестве полевой шины в данном проекте используется *PROFIBUS-DP*. Использование этой шины позволяет в перспективе легко расширять проект, создавать распределенную систему управления, вынося модули УСО непосредственно к объекту управления. Кроме того, могут использоваться модули различных производителей, наиболее подходящие для конкретной задачи.

Во многом гибкость системы определяется использованием в качестве МПК мощного полевого контроллера *АС 800А*. Он обладает высокой производительностью и большим объемом оперативной памяти; поддерживает различные полевые шины (*PROFIBUS*, *MODBUS*, *CAN*, *Foundation Fieldbus*) даже одновременно; поддерживает дублированные системы, повышая надежность работы для систем защиты. Имеет высокую электромагнитную защищенность и широкий диапазон рабочих температур, что позволяет устанавливать его рядом с оборудованием.

Используемые модули УСО серии *S800* имеют высокие эксплуатационные характеристики. За счет использования модуля *CI830* связи для сети *PROFIBUS*, они могут быть расположены на больших расстояниях от контроллера. На один модуль связи может быть подключено до 12 аналоговых модулей УСО (96 каналов) и до 24 дискретных (384 сигнала). Модули обеспечивают прием (передачу) стандартных сигналов 4(0) - 20 мА, сигналов от термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей (в том числе и градуировок, используемых в отечественных системах), дискретных сигналов 24 и 220 В.

Контрольные вопросы

1. Назовите полевые контроллеры и модули УСО, на базе которых создана микропроцессорная АСУТП турбиной средней мощности.
2. Поясните компоненты система управления турбоустановки.
3. Охарактеризуйте структурную схему системы управления.
4. Назовите основные функции АСУТП турбоустановкой.
5. Как осуществляется наблюдение за процессом и управление оборудованием?
6. Как операторские станции и контроллеры связаны друг с другом?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клюев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Клюев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие/ Под ред. А.С. Клюева. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 464 с.
2. Монтаж средств измерений и автоматизации: Справочник/ Алексеев К.А., Антипин В.С., Ганашек А.Л. и др.; Под ред. А.С. Клюева. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 488 с.
3. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник для вузов. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2005. - 703 с: ил. ISBN 5-94723-634-6.
4. Гусев С. Краткий экскурс в историю промышленных сетей// Современные технологии автоматизации. - 2000, № 4. с. 78 - 84.
5. Эрглис К.Э. Интерфейсы открытых систем. - М.: Горячая линия, - Телеком, 2000. - 256 с.
6. Яковлев В. Основы оптоволоконной технологии// Современные технологии автоматизации. - 2002, № 4. с. 74 - 81.
7. Правила устройства электроустановок. - СПб.: ДЕАМ, 2001.
8. Жданкин В. Некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности оборудования// Современные технологии автоматизации. - 1998, № 2. с. 98 - 106.
9. Жданкин В. Защита приборов и средств автоматизации от высоковольтных импульсов напряжения// Современные технологии автоматизации. - 2002, № 4. с. 66 - 72.
10. Жиленков Н. Новые технологии беспроводной передачи данных// Современные технологии автоматизации. - 2003, № 4. с. 44 - 47.
11. Жданкин В. Взрывоопасные зоны, сравнение видов взрывозащиты// Современные технологии автоматизации. - 2000, № 1. с. 66 - 73.
12. Беломытцев В. Замена элементов управляющей вычислительной системы без отключения питания// Современные технологии автоматизации. - 2000, № 2. с. 72 - 77.
13. Катковский Е.А., Лопатин В.В., Маслов С.А., Трофимов А.В. Опыт внедрения распределенной микропроцессорной АСУ ТП для турбоагрегатов средней мощности// Труды междунар. науч. конф. *Control-2003*. - М.: Издательство МЭИ. 2000. с. 57 - 60.
14. Тарасов Д. Климатизация электротехнических шкафов// Современные технологии автоматизации. - 2006, № 2. с. 84 - 88.
15. Стандарт *ANSI/ISA-S5.1-1984. Instrumentation Symbols and Identification*.
16. ГОСТ Р 51330.10-99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь *i*.
17. Жданкин В. Взрывозащищенная выносная система сопряжения с оборудованием нижнего уровня АСУ ТП// Современные технологии автома-

тизации. - 2002, № 2. с. 74 - 84.

18. ГОСТ 24.104-85 «Информационная технология. Автоматизированные системы управления. Общие требования».

19. ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Автоматизированные системы. Термины и определения».

20. ГОСТ 34.201-89 «Информационная технология. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем».

21. ГОСТ 34.601-90 ЕСС АСУ. «Автоматизированные системы. Стадии создания».

22. ГОСТ 34.602-89 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы».

23. ГОСТ 34.603-92 «Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем».

24. ГОСТ 24.701-86 ЕСС АСУ. «Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения».

25. ГОСТ 24.702-85. ЕСС АСУ. «Эффективность автоматизированных систем управления. Основные положения».

26. СНиП 3.05.07-85 «Системы автоматизации».

27. РД 50-34.698-90 «Методические указания. Информационная технология. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов».

28. Веб-сайт <http://www.skonline.ru/doc/1667.html>.своб.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. СОСТАВ ПРОЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	4
1.1. Общие положения и аналогия со схемой обработки информации человеком.....	4
1.2. Задание на проектирование, исходные данные и материалы...	5
1.3. Стадии проектирования, состав и содержание работ при создании систем автоматизации.....	6
1.4. Виды и типы схем.....	8
1.5. Типовые монтажные чертежи.....	9
1.6. Нетиповые чертежи установки приборов и средств автоматизации и общие виды нестандартизированного оборудования.....	10
2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	11
2.1. Изображение технологического оборудования и коммуникаций.....	11
2.2. Функциональные схемы автоматизации.....	14
2.2.1. Условные обозначения и графические символы отечественного стандарта ГОСТ 21.404-85 (21.408-93).....	16
2.2.2. Условные обозначения и графические символы зарубежных проектно-технологических фирм и организаций.....	29
2.2.3. Чтение функциональных схем автоматизации зарубежных проектно-технологических фирм и организаций.....	35
3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ.....	38
3.1. Условные графические обозначения элементов электрических схем.....	38
3.2. Буквенные обозначения элементов электрических схем.....	43
3.3. Перечень элементов.....	49
4. ЩИТЫ И ПУЛЬТЫ.....	54
4.1. Общие виды щитов и пультов.....	54
4.2. Конструкция и типы щитов и пультов.....	59
4.3. Компоновка центральных щитов и пультов.....	62
5. СХЕМЫ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТРУБНЫХ ПРОВОДОВ.....	67
6. АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ.....	75
6.1. Подход к разработке архитектурно-художественного проекта пункта управления.....	75
6.2. Комфортные условия.....	78
6.3. Инженерно-технические требования к пунктам управления....	81

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОВОДКИ.....	85
7.1. Общие положения.....	85
7.2. Способы выполнения электропроводок.....	85
7.3. Выбор проводов и кабелей.....	89
7.4. Условия совместной прокладки цепей различного назначения.....	102
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	107
8.1. Основные физические понятия оптоволоконных технологий передачи информации.....	107
8.2. Особенности проектирования волоконно-оптических линий связи.....	115
8.3. Конструкция и марки применяемых оптических кабелей.....	117
8.4. Виды соединений оптических кабелей.....	119
8.5. Прокладка оптических кабелей.....	126
9. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	131
9.1. Основные понятия по защите людей от поражения электрическим током, используемых в «Правилах устройства электроустановок».....	131
10. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ.....	137
10.1. Общие требования.....	137
10.2. Выбор напряжения и требования к источникам питания.....	139
10.3. Выбор схемы электропитания, резервирование и автоматическое включение резерва.....	142
10.4. Аппаратура управления и защиты схем электропитания.....	154
10.5. Места установки аппаратов управления и защиты.....	157
10.6. Выбор сечений проводов и жил кабелей.....	165
11. СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ.....	165
11.1. Общие понятия.....	165
11.2. Основные характеристики цифровых промышленных сетей.....	168
11.3. Топология сети.....	171
11.4. Полнота информационного сервиса.....	173
11.5. Тип доступа к физическому каналу.....	173
11.6. Наиболее популярные промышленные сетевые реше- ния.....	174
11.6.1. AS-интерфейс.....	175
11.6.2. Протокол	176

CAN.....		179
11.6.3.	Протокол	182
Interbus.....		
11.6.4.	Сети	183
PROFIBUS.....		187
11.6.5. Сети <i>Ethernet</i>		188
11.6.6. <i>Foundation Fieldbus</i>		189
11.6.7. Выбор конфигурации <i>Ethernet</i>		190
11.6.8. Методика определения работоспособности сети выбранной конфигурации.....		190
11.7.	Беспроводные	
ти.....	сети	
11.7.1. Передача «точка-точка».....		192
11.7.2. Беспроводные ЛВС.....		
11.7.3. Оптические беспроводные сети.....		
11.7.4. Беспроводные сети с радиопередачей данных.....		197
11.7.5. Мобильные сети.....		197
11.7.6. Система беспроводной связи <i>GPRS</i> – развитие стандарта <i>GSM</i>		197
12. ВЗРЫВО- И ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ		202
В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ		204
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ.....		205
12.1. Классификация взрыво-и пожароопасных зон.....		206
12.1.1. Основные понятия.....		208
12.1.2. Классификация взрывоопасных смесей.....		209
12.1.3. Взрыво-и пожароопасные зоны.....		209
12.2. Основные виды взрывозащиты.....		210
12.2.1. Взрывонепроницаемая оболочка (<i>Ex d</i>).....		217
12.2.2. Повышение давления (<i>Ex p</i>).....		220
12.2.3. Погружение в масло (<i>Ex o</i>).....		221
12.2.4. Заполнением порошком (<i>Ex q</i>).....		221
12.2.5. Защита вида « <i>Ex e</i> » (повышенная надежность).....		
12.2.6. Искробезопасная электрическая цепь (<i>Ex i</i>).....		225
12.2.7. Преимущества и ограничения видов взрывозащиты.....		
12.2.8. Маркировка взрывозащищенного электрооборудования.....		226
12.3. Выбор безопасных средств измерения и автоматизации.....		
12.3.1. Сравнение видов взрывозащиты.....		227
12.3.2. Выбор средств измерения и автоматизации для взрывоопасных зон.....		233
12.3.3. Выбор средств измерения и автоматизации для пожароопасных зон.....		233
12.4. Применение промышленных сетевых технологий		234
во взрывоопасных зонах.....		234

13. ЗАЩИТА ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ.....	238
13.1. Наведённые токи - источник наибольшей опасности.....	
13.2. Приборы и средства защиты для цепей контрольно-измерительного оборудования.....	240 240
13.3. Защитные устройства для сигнальных линий.....	241
13.4. Гальванически изолированные сигнальные цепи с защитными устройствами.....	245 247
14. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО МИКРОКЛИМАТА В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ШКАФАХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	248 249
14.1. Типы агрегатов теплообмена.....	
14.2. Расчёт теплового баланса шкафа.....	253
14.3. Активная вентиляция.....	
14.4. Теплообменники для электротехнических шкафов.....	262
14.5. Системы обратного охлаждения.....	
14.6. О проблеме влажности внутри шкафа.....	
15. ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ.....	268
16. ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	273
17. ЗАМЕНА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПИТАНИЯ.....	278
18. ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АСУТП ДЛЯ ТУРБОАГРЕГАТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ.....	
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	