

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Е.Ю. Силаева, Е.Л. Еремина**

## **Введение в направление**

*Электронное учебное пособие*



Волжский  
2019

УДК 658.52(07)  
ББК 32.965я73  
С 36

Рецензенты:

канд. тех. наук, доц. филиал г. Волжский МЭИ(ТУ)

*Капля Е.В.,*

канд. тех. наук, начальник Волжского  
филиала ФБУ «Волгоградский ЦСМ»

*Бельчанская Е.Н.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Силаева, Е.Ю.

Введение в направление [Электронный ресурс] : учебное пособие /  
Е. Ю. Силаева, Е.Л. Еремина; ВПИ (филиал) ВолгГТУ, – Электрон.  
текстовые дан. (1 файл: 3,43 МБ). – Волжский, 2019. – Режим доступа:  
<http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3298-1

В пособие рассмотрены основные понятия по автоматизации технологических  
процессов и производств.

Учебное пособие представляет собой конспект лекций, с примерами основных  
механизмов.

Предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по направлению  
бакалавриата «Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм  
обучения.

Ил. 38, табл. 4, библиограф.: 11 назв.

ISBN 978-5-9948-3298-1

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2019  
© Волжский политехнический  
институт, 2019

## Содержание

Введение	4
1 Иерархическая структура схемы управления производством	6
2 Промышленный интернет вещей	10
2.1 Люди, процессы, данные и вещи	12
2.2 Протоколы взаимодействия	13
2.3 Значимость всеобъемлющего интернета	15
2.4 Сети всеобъемлющего интернета	16
2.5 Сетевая топология	21
3 Среды передачи данных	27
3.1 Кабельные линии связи	27
3.2 Беспроводные линии связи	32
4 Контроллеры	42
4.1 Программируемые логические контроллеры (ПЛК)	43
5 Протоколы прикладного уровня	58
5.1 HTTP протокол	58
5.2 FTP протокол	60
5.3 SMTP протокол	61
5.4 POP3 протокол	62
6 Измерения. Датчики и измерительные средства.	64
6.1 Датчики температуры	69
6.2 Принцип действия	70
6.2.1 Типы термопар	74
6.3 Термометр сопротивления	74
6.4 Датчик давления	76
6.5 Датчики для измерения расхода	79
7 Исполнительные механизмы и регулирующие органы	85
7.1 Электродвигательные исполнительные механизмы	87
7.2 Регулирующие органы	90
Список литературы	98

## Введение

Одним из первых этапов в процессе облегчения труда стало изобретение колеса. Затем было изобретение самодействующих устройств, применяемых в мелких кустарных производствах. С возникновением крупных промышленных производств об автоматизации заговорили как об этапе развития промышленности.

Первая промышленная революция началась во второй половине XVIII века с отказа от аграрной экономики и перехода к промышленному производству за счет изобретения паровой энергии, механических устройств (энергия пара и воды) и развития металлургии.

Во второй половине XIX в. – начало XX в. массово развивалось конвейерное производство, связанное с освоением электричества и возникновением автоматизированного электропривода.

Мы живём в эпоху пока ещё третьей промышленной (или цифровой) революции, начавшейся во второй половине прошлого века с применения в производстве электронных и информационных систем, обеспечивших интенсивную автоматизацию и роботизацию производственных процессов.

Сегодня она постепенно трансформируется в четвёртую промышленную революцию, которая характеризуется слиянием технологий и размытием граней между физическими, цифровыми и биологическими сферами.

Впервые концепцию четвёртой промышленной революции, или «Индустрии 4.0», сформулировали на Ганноверской выставке в 2011 году, определив её как внедрение «киберфизических систем» в заводские процессы. Предполагается, что эти системы будут объединяться в одну сеть, связываться друг с другом в режиме реального времени, самонастраиваться и учиться новым моделям поведения. Такие сети смогут выстраивать производство с меньшим количеством ошибок,

взаимодействовать с производимыми товарами и при необходимости адаптироваться под новые потребности потребителей.

Таким образом, если автоматизация производства, начавшаяся в середине XX века, имела узкую специализацию, при которой системы управления разрабатывались для каждой сферы и предприятия отдельно и не масштабировались, то в основе новой технологической революции будет лежать развитие глобальных промышленных сетей (промышленный интернет вещей).

## 1 Иерархическая структура схемы управления производством

Современные интегрированные системы автоматизации производства удобно рассматривать через «Пирамиду потребностей Маслоу», интерпретированную для потребностей производственной структуры. Её принято делить на две части:

первая – это непосредственно управление производственным процессом,

вторая – это управление финансово-экономической деятельностью предприятия. Рассмотрим иерархическую структуру автоматизации:

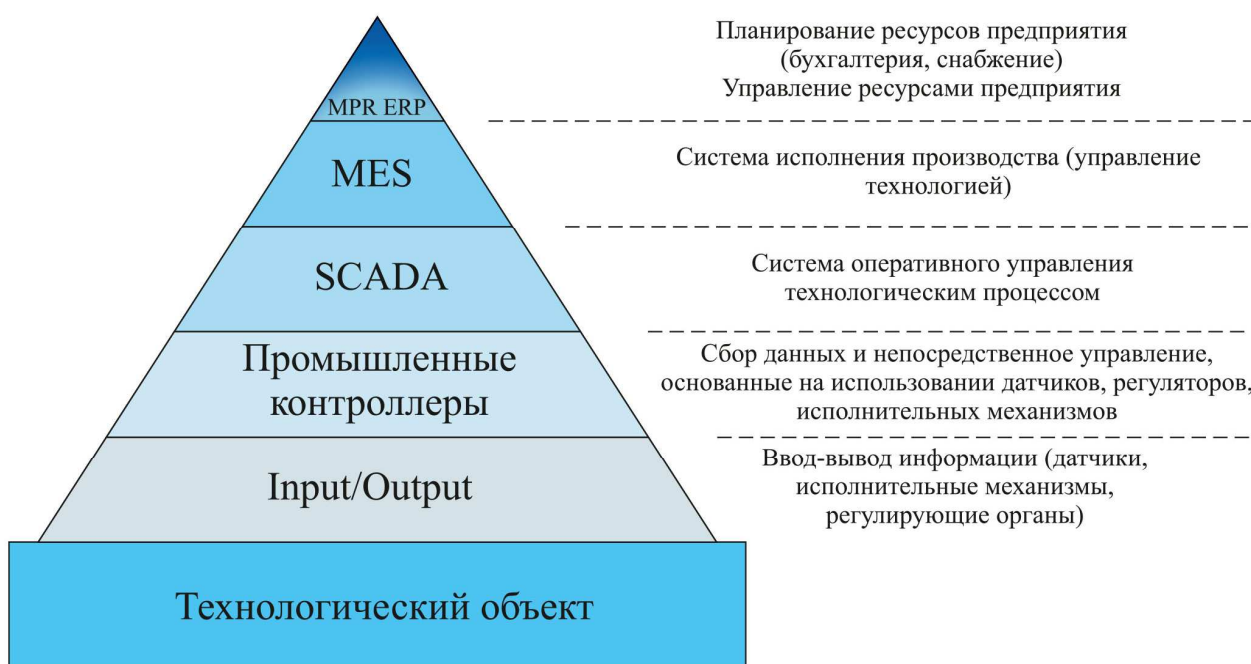


Рисунок 1 – Иерархическая структура автоматизации

MPR – планирование ресурсов предприятия (бухгалтерия, маркетинг и т.д.);

MRP (Material Requirement Planning) – это планирование потребности в материалах;

MRP II (Manufacturing Resource Planning) – это планирование производственных ресурсов;

ERP – управление ресурсами предприятия. Первый уровень пирамиды оснащены компьютерным оборудованием с программным обеспечением,

позволяющим иметь полную информацию о всем производстве и осуществлять планирование ресурсов.

Структуру современного производства MRP/ERP можно рассматривать по следующим отраслям:

- управление запасами;
- управление снабжением;
- управление сбытом;
- управление производством;
- планирование;
- управление сервисным обслуживанием;
- управление цепочками поставок;
- управление финансами.

MES (Manufacturing Execution System) – на данном уровне расположены компьютерные ресурсы, позволяющие управлять производством и рабочим персоналом в ходе всего технологического процесса, управлять качеством продукции, следить за состоянием и надлежащим обслуживанием оборудования.

SCADA – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени, систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. Ведущие контроллеры, управляющие компьютеры, диспетчерские интерфейсы, позволяющие контролировать рабочий процесс, получать и накапливать необходимую информацию о нем и при необходимости её корректировать.

Промышленные контроллеры – представляют собой подсистему, управляющую работой подключенных к ней устройств, без возможности изменять данные, которые проходят через неё. В то же время есть возможность форматирования потока данных для передачи или записи на носитель. К

контроллерам подключаются периферийные устройства и каналы связи. Программируемые контроллеры, регуляторы, промышленные управляющие компьютеры, осуществляющие управление объектом по информации получаемой от датчиков – один из важнейших блоков в пирамиде управления производством.

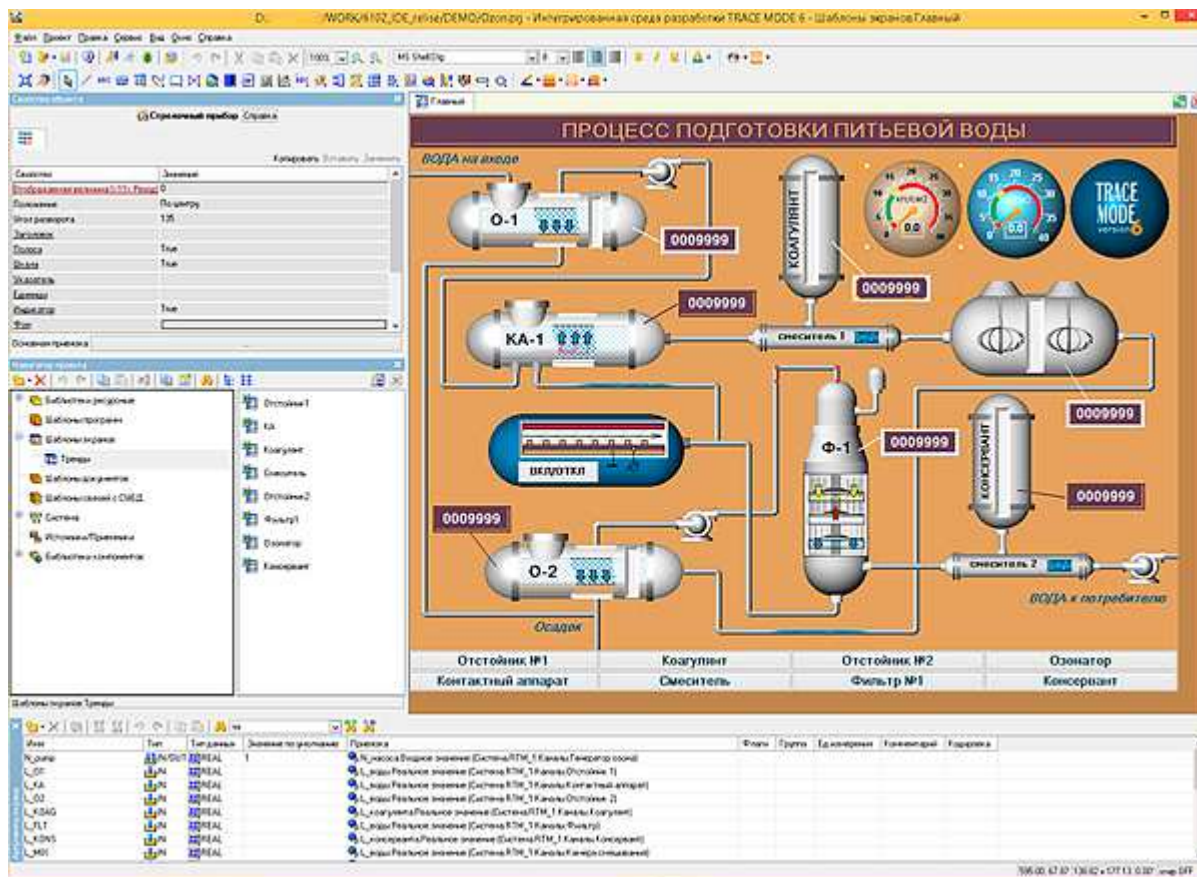


Рисунок 2 – Вид SCADA системы

Input/Output (Ввод/Вывод) – производственный (самый нижний уровень), где расположены датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы, относящиеся к управляемым объектам.

Первый уровень – это нижний уровень, на нем расположены датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы.

Второй уровень – уровень управления (Control), здесь расположены программируемые контроллеры, осуществляющие управление объектом по информации получаемой от датчиков.



Третий уровень – уровень диспетчерского операторского управления (SCADA), здесь находятся ведущие контроллеры, управляющие контроллеры, диспетчерские интерфейсы, позволяющие следить за ходом управляемого процесса, получать и сохранять информацию о процессе и корректировать его.

Четвертый уровень – уровень управления технологическим процессом, на нем расположены программно объединённые компьютеры, позволяющие управлять производственными и людскими ресурсами в ходе технологического процесса, управлять качеством продукции, следить за обслуживанием оборудования и др. Этот уровень возник позже по мере развития систем в связи с необходимостью обеспечивать связи между 3-им и 5-м уровнями.

Пятый уровень – уровень офисного управления предприятием (ERP, MRP), расположены системы оснащённые компьютерным оборудованием с программным обеспечением, позволяющим иметь полную информацию обо всем производстве и осуществлять планирование ресурсов – ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия или MRP (Manufacturing Resource Planning) – планирование ресурсов производства. Системы ERP ориентированы на предприятие в целом, а MRP – на его производственные подразделения. Разделение функций зависит от программного обеспечения.

Первые три уровня объединены в Автоматизированную Систему Управления Технологическим Процессом (АСУ ТП), а четвертый и пятый в Автоматизированную Систему Управления Предприятием (АСУП).

Количество уровней может варьироваться в зависимости от сложности системы автоматизации. Простые системы могут содержать в себе один или несколько нижних уровней пирамиды.

## 2 Промышленный интернет вещей

Сегодня Интернет достиг невероятных масштабов в своем развитии. На первых этапах усовершенствования происходили очень медленно. Сегодня же скорость появления инноваций и инструментов для обмена данными воспринимается как данность.

Как правило, когда люди используют слово «Интернет», они не имеют в виду физические соединения в существующем мире. Скорее, это понятие ассоциируется с бесформенным набором соединений. Это такое «место», где люди ищут или выкладывают информацию. Это библиотека 21-го века, прокат кинофильмов и личный фотоальбом.

Современный Интернет прошел большой путь. Его прототип, сеть ARPANET с коммутацией пакетов, созданный в 1969 году, сначала соединял всего несколько узлов, в то время как к 2020 году, по оценкам экспертов, сможет связать между собой 50 миллиардов объектов. Теперь Интернет связывает весь мир, что позволяет нам каждый день открывать любые сайты, общаться в социальных сетях и пользоваться интеллектуальными мобильными устройствами.

В рамках своего становления Интернет преодолел четыре различных этапа саморазвития. Каждый преодоленный этап влиял на различные сферы бизнеса и общества более сильное влияние, нежели предыдущий.

«Связь» – первый этап, начало развития этапа – 1980-ые года XX века. Формирование первых электронных ресурсов, появление возможности электронной переписки, создание первых сайтов.

«Сетевая экономика» – второй этап, начался в конце XX столетия. Начинается развитие цифровой коммерции, структура торговли приобретает электронный формат.

«Совместная работа» – третий этап берет начало в 2000-х годах. В это время формируются социальные сети, распространяется повсеместно

мобильная связь, видео и фотографии переходят в цифровой стандарт, создаются облачные вычисления. На данном этапе многократно обогатился новыми профессиями рынок труда.

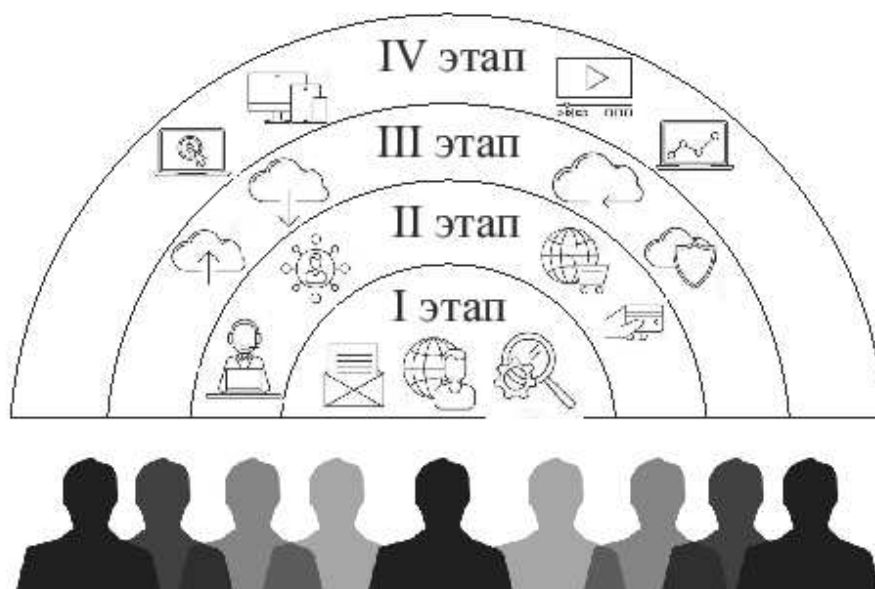


Рисунок 3 – Четыре этапа Интернета

«Всеобъемлющий интернет» – текущий этап. Этап обеспечивает взаимодействие людей, процессов, данных и вещей, интерпретируя информацию в конкретный план действий, при этом появляются новые возможности, строятся оптимальные пути решения проблем и открываются необыкновенные перспективы.



Рисунок 4 – Переход ко всеобъемлющему интернету

## 2.1 Люди, процессы, данные и вещи

Чтобы повысить важность и ценность сетевых соединений, всеобъемлющий интернет опирается на четыре столпа: люди, процессы, данные и вещи. Информация, получаемая за счет этих соединений, приводит к решениям и действиям, создающим новые возможности, обогащающим опыт и предоставляющим непревзойденные экономические возможности для отдельных людей, компаний и целых стран.

**Люди** – большинство людей могут развивать коммуникационные связи через устройства, имеющими выход в Интернет. По мере развития всеобъемлющего интернета способы подключения так же эволюционируют. Различные гаджеты уже меняют способы взаимодействия человечества.

**Процессы** – изменения, происходящие со всеми остальными столпами во всеобъемлющем интернете. При сочетании соединения и актуального действия получаем нужный результат. Эти соединения предоставляют нужную информацию человеку в нужное время и наиболее доступным образом.

**Данные** – информация в сочетании с аналитикой предоставляет людям и машинам практические знания для принятия правильных решений и достижения наилучших результатов.



Рисунок 5 – Интернет вещей

**Вещи** – материальные объекты, которые соединены с Интернетом и друг с другом. Такие устройства воспринимают и консолидируют большие потоки данных, имеют чувствительность к малейшим изменениям, таким образом снабжают необходимой информацией, оказывая тем самым поддержку как людям, так и машинам.

## 2.2 Протоколы взаимодействия

Взаимодействие между элементами этих четырех столпов позволяет получить огромное количество новой информации. В рамках всеобъемлющего интернета существуют три основных типа взаимодействия:

- «человек-человек» (P2P) – происходит, когда информация передается от одного человека другому. Все чаще подключения P2P осуществляются посредством видео, мобильных устройств и социальных сетей. Зачастую такие подключения P2P называют совместной работой;
- «машина-человек» (M2P) – происходит, когда информация передается между машиной (например, компьютером, мобильным устройством или цифровым знаком) и человеком. Если человек получает информацию от

базы данных или руководит комплексным анализом, то это подключение M2P. Подключения M2P способствуют перемещению, управлению и отчетности данных от машин, чтобы люди принимали обоснованные решения. Действия, выполняемые людьми, исходя из обоснованных решений, завершают петлю обратной связи всеобъемлющего интернета.

- «машина-машина» (M2M) – происходит, когда данные передаются по сети от одной машины или «вещи» другой. К машинам относятся датчики, роботы, компьютеры и мобильные устройства. Часто подключения M2M называют Интернетом Вещей.

### Признаки всеобъемлющего интернета

Существует всего три признака всеобъемлющего интернета, которые позволяют предприятиям создавать, продвигать и продавать свои товары и услуги в более хорошем качестве.

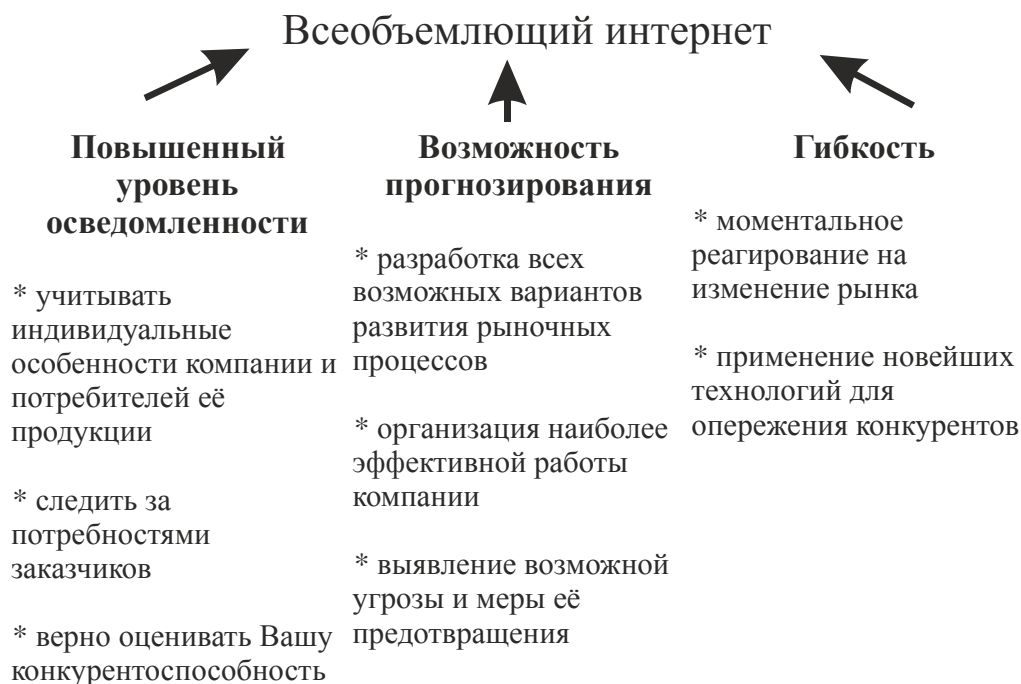


Рисунок 6 – Признаки всеобъемлющего интернета

*Повышенный уровень осведомленности* – это датчики, которые могут получать данные о продукции в реальном времени.

*Возможность прогнозирования* – это новые средства для анализа данных позволяет подвигать перспективные тенденции и схемы поведения.

*Гибкость* – это точные прогнозы позволяют предприятиям быстрее реагировать на возрастающие тенденции и угрозы рынка, а также подстраиваться под них.

Для любого предприятия и организации характерны следующие признаки:

1. Качество обслуживания – это улучшение отношений с заказчиком.
2. Инновации – быстрота изготовления продукции, усовершенствование технологии производства.
3. Производительность труда – это повышение производительности труда за счет каких-либо возможностей.
4. Использование ресурсов – это снижение затрат на исходное сырье.
5. Поставки – это определение областей, которые затрудняют поставки и повышение логический действий.

### 2.3 Значимость всеобъемлющего интернета

В современном мире человек, да и, конечно, любое предприятие не может представить свою жизнь без интернета. Несложно оценить значимость «всемирной паутины», которая охватывает как бытовую сторону жизни человека, так и глобальное развитие технологий.

*Инвестирование в инфраструктуру и инструменты высококачественных передовых технологий* – это защищенная и очень надежная инфраструктура.

*Принятие и применение инклюзивных методик* – это среда, в которой сотрудники любого предприятия чувствуют себя частью каких-либо изменений и осознают себя участниками процесса.

*Разработка эффективных методов управления информацией* – это стратегия, созданная для управления, которая должна охватывать и стимулировать изменения.

Современные предприятия с помощью всеобъемлющего интернета смогут создать между собой конкурентное преимущество.

## 2.4 Сети всеобъемлющего интернета

Сети создают основу для Интернета и в итоге для всего человечества. Методы, которым мы используем для обмена данными, непрерывно развиваются. Не так давно всё человечество было ограничено индивидуальным общением, но со временем прорыв в сети Интернет был таким стремительным, что теперь мы можем общаться, где хотим и сколько хотим.

Сети могут быть различного размера от простых, содержащих два компьютера, до систем, соединяющих миллионы устройств. Сети упрощают работу сотрудников и дают возможность взаимодействия посредством электронной почты, мгновенных сообщений и другого рода возможностей.

Сети – это сложное устройство, которое имеет множество компонентов, которые мы и рассмотрим.

### Компоненты сети

Маршрут, по которому сообщение идет от источника к месту назначения, может быть простым, как, например, один кабель, соединяющий один компьютер с другим, или сложным, как сеть, буквально охватывающая весь мир. Сетевая инфраструктура – это платформа, поддерживающая конкретную сеть, которая выполняет функцию стабильного и надежного канала для передачи данных.

Устройства и среда передачи данных – это физические элементы или аппаратное обеспечение сети. Аппаратное обеспечение зачастую является видимой частью сетевой платформы – ноутбук, ПК, коммутатор, маршрутизатор, точка беспроводного доступа или кабели, используемые для соединения устройств. Однако существуют компоненты, которые остаются скрытыми. В случае беспроводных сетей сообщения передаются с помощью незримого радиочастотного или инфракрасного излучения.

Компоненты сети используются для предоставления сервисов и процессов. Они представляют собой коммуникационные программы, называемые



программным обеспечением, которые запускаются на сетевых устройствах. Сетевой сервис предоставляет данные в ответ на запрос. Сервисы включают в себя множество сетевых приложений, которые люди используют ежедневно, например, сервисы электронной почты и веб-хостинга. Процессы обеспечивают функциональность, посредством которой сообщения направляются и перемещаются в пределах сети. Процессы менее очевидны для нас, но критически важны для работы сетей.

### Конечные устройства

Сетевые устройства, с которыми пользователи знакомы лучше всего, называются конечными устройствами. Все компьютеры, подключенные к сети и непосредственно участвующие в обмене данными, считаются узлами. Эти устройства образуют интерфейс между пользователями и сетью связи.

Примеры конечных устройств:

- ЭВМ (компьютеры, ноутбуки, веб-серверы);
- сетевые принтеры и диски;
- VoIP-телефоны;
- терминальные устройства;
- камеры видеонаблюдения;
- мобильные карманные устройства (смартфоны, планшетные ПК, КПК);
- датчики, например, термометры, весы и другие устройства, подключаемые к сети;
- исполнительные механизмы, как составляющие «умных вещей».

**Конечное устройство** – это источник или место назначения данных, передаваемых по сети. Каждому конечному устройству в сети назначается адрес, чтобы устройства можно было отличить. Если конечное устройство инициирует обмен данными, то в качестве получателя сообщения оно использует адрес конечного устройства назначения.

В сетях выделяют два обобщённых типа конечных устройств.

**Сервер** – это конечное устройство, на котором установлено ПО, позволяющее ему предоставлять информацию, в том числе сообщения электронной почты или веб-страницы, другим конечным устройствам в сети. Например, для работы веб-служб в сети на сервере должно быть установлено ПО веб-сервера.



Рисунок 7 – Сервер хранения данных

**Клиент** – это конечное устройство, на котором установлено ПО, позволяющее запрашивать и отображать информацию, полученную от сервера. Примером клиентского программного обеспечения является веб-браузер, например Internet Explorer (см. рисунок 8).

В настоящее время существует много новых типов конечных устройств, которые собирают и передают данные, они являются важнейшими составляющими интернета вещей.

**Датчик** – это объект, который может измерять физические свойства и преобразовывать эту информацию в электрический или оптический сигнал. Например, датчики могут измерять температуру, вес, движение, давление и влажность.



Рисунок 8 – Примеры клиентских устройств

Как правило, датчики поставляются с заранее запрограммированными инструкциями; впрочем, в некоторых датчиках можно изменить степень чувствительности или частоту отчетности. Настройки чувствительности указывают степень изменения выходных данных датчика при колебаниях измеряемой величины. Например, датчик движения можно откалибровать таким образом, чтобы он замечал только движения людей, не обращая внимания на домашних животных. Для изменения параметров датчика как локально, так и удаленно используется контроллер, который может быть оснащен графическим пользовательским интерфейсом (GUI).

**Исполнительный механизм** – это другое устройство, которое реализовано в рамках интернета вещей. Это базовый двигатель, который можно использовать для активации или контроля механизма или системы, исходя из имеющихся инструкций. Исполнительные механизмы выполняют непосредственное физическое действие, стоящее за понятием «привести в движение».

В интернете вещей используются три типа исполнительных механизмов:

– **гидравлический** – использует давление жидкости для выполнения механического движения;

– *пневматический* – использует сжатый под высоким давлением воздух для инициирования механического действия;

– *электрический* – работает благодаря электродвигателю, который преобразует электроэнергию в механические действия.

Вне зависимости от того, как исполнительный механизм иницирует движение, его базовая функция заключается в получении сигнала, исходя из которого он выполняет какое-либо действие. Как правило, исполнительные механизмы не способны обрабатывать данные. Скорее результат выполняемого механизмом действия зависит от полученного сигнала. Действие, выполняемое механизмом, обычно иницируется сигналом со стороны контроллера.

#### Промежуточные сетевые устройства

*Промежуточные устройства* служат для соединения конечных устройств. Эти устройства обеспечивают соединение, работая «за кулисами» и осуществляя передачу данных по сети. Промежуточные устройства соединяют отдельные узлы с сетью и могут соединять несколько отдельных сетей для создания объединенной сети.

Примеры промежуточных сетевых устройств (см. рисунок 9):

- коммутаторы и точки беспроводного доступа (сетевой доступ);
- маршрутизаторы (межсетевое взаимодействие);
- межсетевые экраны (безопасность).

К функциям промежуточных устройств относится управление данными по мере их прохождения через сеть. Эти устройства используют адрес узла назначения и информацию о межсетевых соединениях, чтобы определить пути для отправки сообщений по сети.



Рисунок 9 – Пример промежуточного устройства

Процессы, запущенные на промежуточных сетевых устройствах, выполняют следующие функции:

- регенерация и ретрансляция сигналов передачи данных;
- поддержание информации о существующих путях в сети и между сетями;
- уведомление других устройств об ошибках и сбоях связи;
- направление данных через альтернативный маршрут при выходе канала из строя;
- классификация и передача сообщений в соответствии с приоритетами качества обслуживания (QoS);
- разрешение или запрет потока данных на основании настроек безопасности.

## 2.5 Сетевая топология

**Сетевая топология** – это схема, в которой изложены различные элементы компьютерной сети. Сеть может быть представлена двумя типами топологии: физической и логической.

Физическая топология отображает расположение и местонахождение всех устройств в сети. Физическая топология описывает фактические соединения между устройствами посредством проводов и кабелей.

При определении физической топологии необходимо учесть следующие аспекты.

- Местоположение компьютеров пользователей.
- Расположение сетевого оборудования, в том числе коммутаторов, маршрутизаторов и точек беспроводного доступа.
- Расположение контроллеров и серверов.
- Расположение датчиков и исполнительных механизмов.
- Возможность расширения сети в будущем.

Логическая топология основана на принципах работы протоколов связи и представляет сеть иначе, чем физические топологии. Логическая топология отображает пути, по которым данные передаются по сети. Она описывает, как устройства обмениваются данными с пользователями сети. Неотъемлемой частью логической топологии является схема адресации.

Все сети строятся на основе трех базовых топологий:

- шина (bus);
- звезда (star);
- кольцо (ring).

### Шинная топология

При помощи кабеля каждая рабочая станция соединяется с другими рабочими станциями и с файловым сервером. Кабель проходит от узла к узлу, последовательно соединяя все рабочие станции и все файловые серверы. На каждом конце кабеля подключается согласующая нагрузка (терминатор) для исключения эхоотражений (см. рисунок 10).

Шинная топология использует состязательный метод доступа. Это означает, что информацию принимает только тот компьютер, адрес которого соответствует адресу получателя, зашифрованному в передаваемых сигналах. Остальные компьютеры отбрасывают сообщение. Перед передачей данных компьютер должен ожидать освобождения шины.

В каждый момент времени отправлять сообщение может только один компьютер, поэтому число подключенных к сети машин значительно влияет на ее быстродействие.

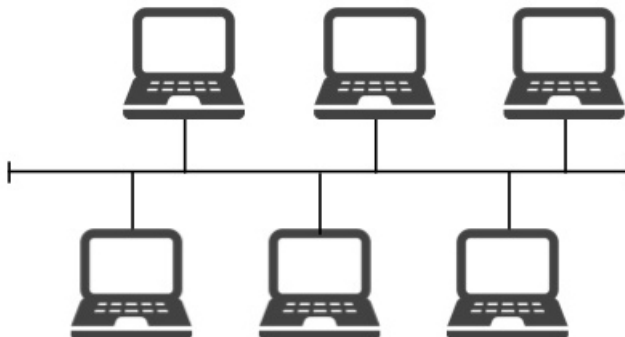


Рисунок 10 – Шинная топология

***Преимущества шинной топологии:***

- надежно работает в небольших сетях, проста в использовании;
- требует меньше кабеля для соединения компьютеров и потому дешевле, чем другие схемы соединения;
- легко расширяется за счет состыковки кабельных сегментов с помощью цилиндрического соединителя и использования повторителей.

***Недостатки шинной топологии:***

- интенсивный сетевой трафик снижает производительность сети. При большом числе компьютеров в сети станции часто прерывают друг друга, и немалая часть полосы пропускания теряется понапрасну. При добавлении компьютеров к сети резко падает производительность;
- цилиндрические соединители ослабляют электрический сигнал, и большое их число вызывает нарушения в передаче информации по шине;
- разрыв кабеля или неправильное функционирование одной из станций может привести к нарушению работоспособности всей сети. Сеть трудно диагностировать.

## Кольцевая топология

В сети с кольцевой топологией каждый компьютер соединяется со следующим компьютером, ретранслирующим ту информацию, которую он получает от первой машины. Благодаря такой ретрансляции сеть является активной, и в ней не возникают проблемы потери сигнала, как в сетях с шинной топологией. Кроме того, поскольку «конца» в кольцевой сети нет, никаких окончательных нагрузок не нужно (см. рисунок 11).

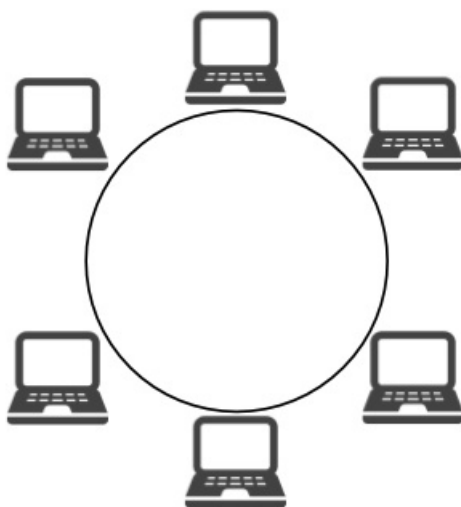


Рисунок 11 – Кольцевая топология

Некоторые сети с кольцевой топологией используют метод доступа к среде на основе маркера (метод эстафетной передачи). Специальное короткое сообщение-маркер циркулирует по кольцу, пока компьютер не пожелает передать информацию другому узлу. Он модифицирует маркер, добавляет электронный адрес и данные, а затем отправляет его по кольцу. Каждый из компьютеров последовательно получает данный маркер с добавленной информацией и передает его соседней машине, пока электронный адрес не совпадет с адресом компьютера-получателя, или маркер не вернется к отправителю. Получивший сообщение компьютер возвращает отправителю ответ, подтверждающий, что послание принято. Тогда отправитель создает еще один маркер и отправляет его в сеть, что позволяет другой станции перехватить



маркер и начать передачу. Маркер циркулирует по кольцу, пока какая-либо из станций не будет готова к передаче и не захватит его.

Такая структура способствует восстановлению сети в случае возникновения отказов.

***Преимущества сети с кольцевой топологией:***

– поскольку всем компьютерам предоставляется равный доступ к маркеру, никто из них не сможет монополизировать сеть;

– справедливое совместное использование сети обеспечивает постепенное снижение ее производительности в случае увеличения числа пользователей и перегрузки (лучше, если сеть будет продолжать функционировать, хотя и медленно, чем сразу откажет при превышении пропускной способности).

***Недостатки сети с кольцевой топологией:***

– отказ одного компьютера в сети может повлиять на работоспособность всей сети;

– кольцевую сеть трудно диагностировать;

– добавление или удаление компьютера вынуждает разрывать сеть.

**Звездообразная топология**

***Звездообразная топология*** – базовая топология компьютерной сети, в которой все компьютеры сети присоединены к центральному узлу (обычно коммутатор), образуя физический сегмент сети. Весь обмен информацией идет исключительно через центральный компьютер, на который таким способом возлагается очень большая нагрузка, поэтому ничем другим, кроме сети, он заниматься не может. Как правило, именно центральный компьютер является самым мощным, и именно на него возлагаются все функции по управлению сетью (см. рисунок 12).

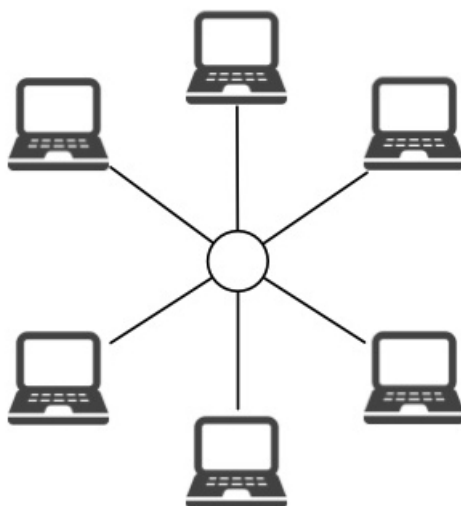


Рисунок 12 – Звездообразная топология.

Активный концентратор регенерирует электрический сигнал и посылает его всем подключенным компьютерам. Такой тип концентратора часто называют многопортовым повторителем (multiport repeater). Для работы активных концентраторов и коммутаторов требуется питание от сети.

***Преимущества звездообразной топологии:***

- центральный концентратор звездообразной сети удобно использовать для диагностики;
- отказ одного компьютера не обязательно приводит к останову всей сети;
- добавления новых узлов не уменьшает скорость передачи данных в сети;
- в одной сети допускается применение нескольких типов кабелей (если их позволяет использовать концентратор).

***Недостатки сети со звездообразной топологией:***

- при отказе центрального концентратора вся сеть становится неработоспособной;
- все компьютеры должны соединяться с центральной точкой, это увеличивает расход кабеля, следовательно, такие сети обходятся дороже, чем сети с иной топологией.

### 3 Среды передачи данных

Передача данных в сети осуществляется через определенную среду, например, кабель или воздух. Такая среда упрощает передачу данных от источника к получателю.

В современных сетях в основном используются три типа сред, связывающих устройства и предоставляющих путь, по которому передаются данные:

- металлические провода внутри кабелей;
- стеклянные или пластиковые волокна (волоконно-оптический кабель);
- беспроводная среда передачи данных.

Кодирование сигналов, которое необходимо для передачи, осуществляется по-разному в зависимости от типа среды. В металлических проводах данные кодируются в виде электрических импульсов, соответствующих определенным шаблонам. Передача в оптоволоконных сетях происходит в виде импульсов света в диапазоне инфракрасного излучения или видимого света. При беспроводной передаче для описания разных значений битов используются шаблоны электромагнитного излучения.

Разные типы сред передачи данных отличаются характерными функциями и преимуществами. Критерии выбора среды передачи данных:

- расстояние передачи сигнала в рамках среды;
- условия реализации среды передачи данных;
- объем данных и требуемая скорость их передачи;
- стоимость носителей и их развертывания.

#### 3.1 Кабельные линии связи

**Кабельные линии связи** имеют довольно сложную структуру. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции. В компьютерных сетях используются три типа кабелей:

- коаксиальный кабель;

- витая пара;
- волоконно-оптический кабель.

### Коаксиальный кабель

**Коаксиальный кабель** – электрический кабель, состоящий из центрального проводника и экрана, расположенных соосно и разделённых изоляционным материалом или воздушным промежутком. Используется для передачи радиочастотных электрических сигналов.

Коаксиальный кабель (см. рисунок 13) состоит из следующих компонентов:

- оболочка – служит для изоляции и защиты от внешних воздействий, изготавливается из светостабилизированного изоляционного материала;
- внешний проводник в виде оплетки, фольги из меди, медного или алюминиевого сплава;
- изоляция, выполненная в виде диэлектрического заполнения, обеспечивающая постоянство взаимного расположения (соосность) внутреннего и внешнего проводников;
- внутренний проводник в виде одиночного прямолинейного или многожильного скрученного провода.



Рисунок 13 – Устройство коаксиального кабеля

На сегодняшний день сети, построенные на основе коаксиального кабеля, встречаются крайне редко, так как они обладают весьма низкой пропускной способностью. Используется в основном для передачи видео и аудио сигналов.

Кабель витая пара

**Витая пара** (twisted pair) – разновидность электрического кабеля, используемого при создании телекоммуникационных сетей. Используется в телекоммуникациях и в компьютерных сетях в качестве физической среды передачи сигнала во многих технологиях, таких как Ethernet, Arcnet, Token ring, USB. Кабель представляет из себя некоторое количество изолированных проводников, скрученных между собой попарно для повышения помехоустойчивости. Все пары заключены в общую пластиковую оболочку (см. рисунок 14).

Свивание проводников производится с целью повышения степени связи между собой проводников одной пары (электромагнитные помехи одинаково влияют на оба провода пары) и последующего уменьшения электромагнитных помех от внешних источников, а также взаимных наводок при передаче сигналов. Для снижения связи отдельных пар кабеля провода пары свиваются с различным шагом.

На сегодняшний день витая пара является самым распространенным решением для построения локальных проводных сетей, так как имеет невысокую стоимость и легка в монтаже.

Витая пара бывает неэкранированная (UTP) и экранированная (STP). Последняя покрыта дополнительным защитным алюминиевым или полиэстеровым экраном.

Существуют различные категории витой пары, различающиеся эффективным пропускаемым частотным диапазоном и нумеруемые от 1 до 7 (CAT1-7). Эти категории подробно описываются в стандарте EIA/TIA 568.

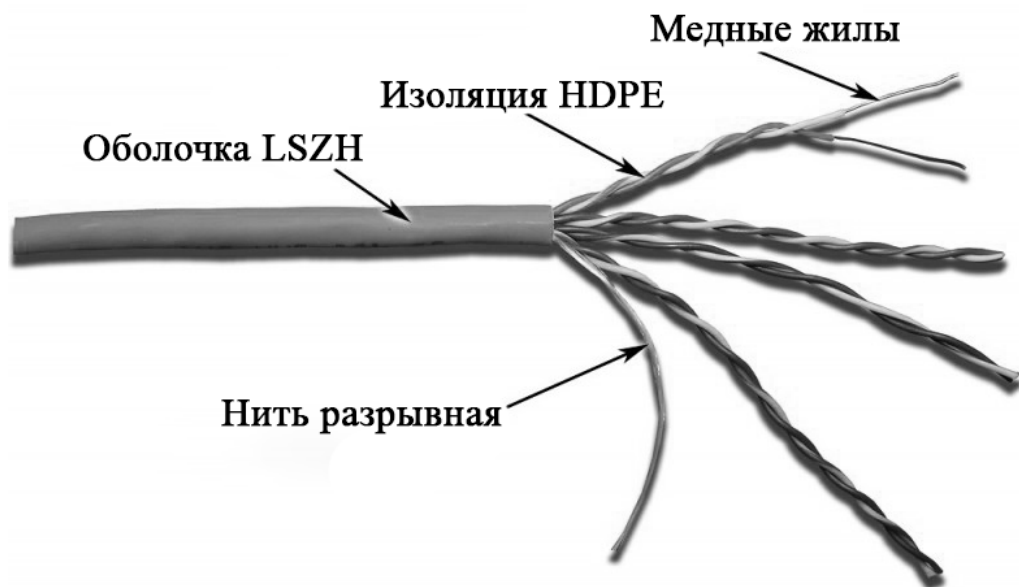


Рисунок 14 – Кабель витая пара

Пропускная способность сети на основе неэкранированной витой пары – от 1 Мбит/с до 1 Гбит/с, на основе экранированной витой пары – до 500 Мбит/с. Максимальная длина сегмента в обоих случаях не должна превышать 100 м.

Волоконно-оптический кабель

**Волоконно-оптический кабель** – это кабель на основе оптоволоконных нитей, предназначенный для передачи оптических сигналов в линиях связи.

Структура волоконно-оптического кабеля (см. рисунок 15) похожа на структуру коаксиального электрического кабеля, только вместо центрального медного провода здесь используется тонкое (диаметром 1-10 мкм) стекловолокно, а вместо внутренней изоляции – стеклянная или пластиковая оболочка, не позволяющая световому лучу выходить за пределы стекловолокна. Принцип действия основан на эффекте полного внутреннего отражения света от границы двух веществ с разными коэффициентами преломления (у стеклянной оболочки коэффициент преломления значительно ниже, чем у центрального волокна). Металлическая оплетка кабеля обычно отсутствует, так как экранирование от внешних электромагнитных помех здесь не требуется. Иногда ее применяют для механической защиты от внешних воздействий

(такой кабель иногда называют броневым, он может объединять под одной оболочкой несколько оптоволоконных кабелей).

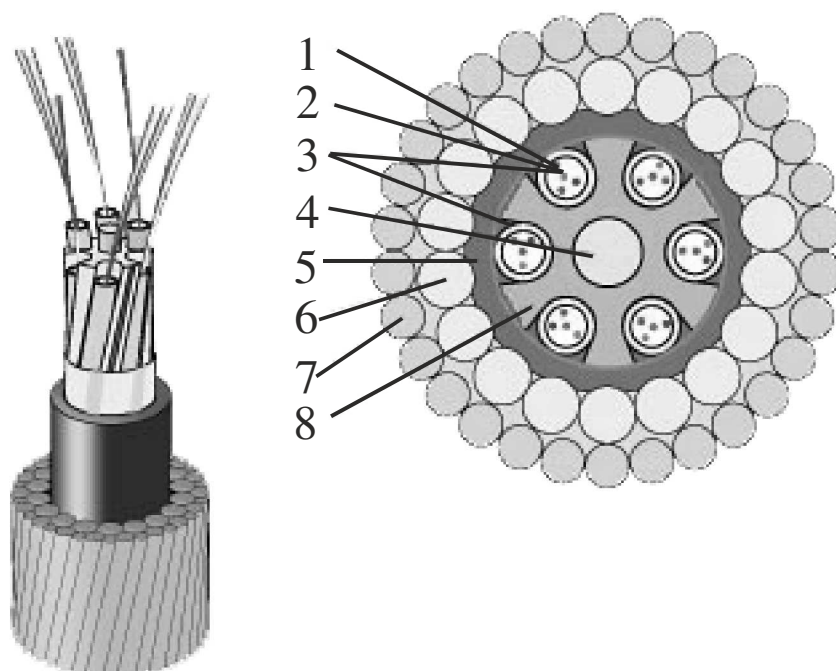


Рисунок 15 – Волоконно-оптический кабель (1- оптическое волокно; 2- оболочка оптического модуля; 3- гидрофобный наполнитель; 4- центральный силовой элемент; 5- термовлагозащитный слой; 6- стальные проволоки; 7- проволоки из алюминиевого сплава; 8- профилированный сердечник)

Существуют два различных типа оптоволоконных кабелей:

- многомодовый;
- одномодовый.

Основные различия между этими типами связаны с разными режимами прохождения световых лучей в кабеле.

**В одномодовом кабеле** практически все лучи проходят один и тот же путь, в результате чего все они достигают приемника одновременно, и форма сигнала практически не искажается. Одномодовый кабель имеет диаметр центрального волокна около 1,3 мкм и передает свет только с такой же длиной волны. Дисперсия и потери сигнала при этом очень незначительны, что позволяет передавать сигналы на значительно большее расстояние, чем в случае применения многомодового кабеля. Для одномодового кабеля

применяются лазерные приемопередатчики, использующие свет исключительно с требуемой длиной волны.

**В многомодовом кабеле** траектории световых лучей имеют заметный разброс, в результате чего форма сигнала на приемном конце кабеля искажается. Центральное волокно имеет диаметр 62,5 мкм, а диаметр внешней оболочки – 125 мкм (это иногда обозначается как 62,5/125). Для передачи используется обычный (не лазерный) светодиод, что снижает стоимость и увеличивает срок службы приемопередатчиков по сравнению с одномодовым кабелем[9].

Волоконно-оптические кабели широко используются в телекоммуникациях, так как позволяют передавать данные на большие расстояния и с очень высокой скоростью (до нескольких Гбит/с и более). Оптоволоконные кабели не подвержены действию электромагнитных помех, сигнал, передаваемый по ним, невозможно перехватить.

### 3.2 Беспроводные линии связи

**Беспроводная среда передачи данных** характеризуется отсутствием необходимости в применении каких-либо кабелей. Для передачи информации могут использоваться радиоволны, а также инфракрасное, оптическое или лазерное излучение.

#### Инфракрасная связь

**Инфракрасная связь** – группа стандартов, описывающая протоколы физического и логического уровня передачи данных с использованием инфракрасного диапазона световых волн в качестве среды передачи данных. В компьютерной технике обычно используется для связи компьютеров с периферийными устройствами (например, инфракрасный порт IrDA).

**Инфракрасный порт (IrDA)** содержит в себе передатчик (специальный светодиод) и приемник (фотодиод), которые работают в инфракрасном диапазоне. Инфракрасное излучение не способно проникать сквозь преграды,



поэтому для установления связи между устройствами их необходимо располагать в условиях прямой видимости относительно друг друга. См. рисунок 16. Основные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики технологии инфракрасный порт

Название	Стандарт	Назначение	Скорость передачи данных	Радиус действия
Инфракрасный порт	IrDa	Персональная локальная сеть	до 16 Мбит/с	от 5 до 50 см, односторонняя связь — до 10 метров



Рисунок 16 – Инфракрасный порт

Этот тип связи получил распространение в современных фотовспышках и синхронизаторах. Он используется для дистанционного запуска дополнительных вспышек и обмена данными между TTL-экспонометром фотоаппарата и микропроцессорами, управляющими мощностью импульсного освещения.

#### Беспроводная локальная связь Wi-Fi

**Беспроводная локальная связь Wi-Fi** – это семейство протоколов для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11 в зоне частотных диапазонов 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц.

Таким образом, данный стандарт является наиболее приемлемым при построении беспроводных сетей (см. рисунок 17).

Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка, когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с – наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала. Стандарт Wi-Fi даёт клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения.



Рисунок 17 – Использование беспроводной сети Wi-Fi

Однако стандарт не описывает всех аспектов построения беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Поэтому каждый производитель оборудования решает эту задачу по-своему, применяя те подходы, которые он считает наилучшими с той или иной точки зрения. Поэтому возникает необходимость классификации способов построения беспроводных локальных сетей.

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные);

точки доступа, работающие под управлением контроллера.

Основные характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики технологии Wi-Fi

Название	Стандарт	Назначение	Скорость передачи данных	Радиус действия	Частота
Wi-Fi	802.11a	Локальная сеть	до 54 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11ac	Локальная сеть	до 3.39 Гбит/с	до 100 метров	2.4+5.0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	Локальная сеть	до 11 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	Локальная сеть	до 54 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	Локальная сеть	до 300 Мбит/с	до 100 метров	2,4–2,5 или 5,0 ГГц

Беспроводная персональная связь Bluetooth

**Bluetooth** – технология беспроводных персональных сетей. Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как ноутбуки, мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры на надёжной, бесплатной, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи. Bluetooth позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся в радиусе до 10 м друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех) даже в разных помещениях (см. рисунок 18).



Рисунок 18 – Использование беспроводной сети Bluetooth

Принцип действия основан на использовании радиоволн. Радиосвязь Bluetooth осуществляется в ISM-диапазоне, который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях (свободный от лицензирования диапазон 2,4-2,4835 ГГц). В Bluetooth применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты. Метод FHSS прост в реализации, обеспечивает устойчивость к широкополосным помехам, а оборудование недорогое.

Согласно алгоритму FHSS, в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду [7] (всего выделяется 79 рабочих частот шириной в 1 МГц, а в Японии, Франции и Испании полоса – уже 23 частотных канала). Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Протокол Bluetooth поддерживает не только соединение «точка-точка», но и соединение «мультиточка» [7].

Основные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики технологии Bluetooth

Название	Стандарт	Назначение	Скорость передачи данных	Радиус действия	Частота
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	Персональная локальная сеть	до 0,7 Мбит/с	до 10 метров	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3	Персональная локальная сеть	до 3 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
Bluetooth v. 3.0	802.11	Персональная локальная сеть	от 3 Мбит/с до 24 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц

### Беспроводная персональная связь ZigBee

**ZigBee** – стандарт для набора высокоуровневых протоколов связи, использующих небольшие, маломощные цифровые приёмопередатчики, основанный на стандарте IEEE 802.15.4 для беспроводных персональных сетей, таких как беспроводные наушники. ZigBee предназначен для радиочастотных устройств, где необходима длительная работа от батареек и безопасность передачи данных по сети[3].

Области применения стандарта (см. рисунок 19):

домашняя автоматизация;

рациональное использование энергии (ZigBee Smart Energy 1.0/2.0);

автоматизация коммерческого строительства;

телекоммуникационные приложения;

медицинское оборудование;

беспроводные игрушки.

Существуют три различных типа устройств ZigBee.

**Координатор ZigBee (ZC)** – наиболее ответственное устройство, формирует пути древа сети и может связываться с другими сетями. В каждой сети есть один координатор ZigBee. Он хранит информацию о настройках сети, выступает как доверенный центр и хранит ключи безопасности.



Рисунок 19 — Умный дом с технологией ZigBee [12].

**Маршрутизатор ZigBee (ZR)** – может выступать в качестве промежуточного маршрутизатора, передавая данные с других устройств.

**Конечное устройство ZigBee (ZED)** – предназначено для обмена информацией только с материнским узлом (координатором или маршрутизатором), поэтому не может получать данные с других устройств. Это позволяет ему большую часть времени пребывать в спящем состоянии, что позволяет экономить энергоресурс батарей. ZED требует минимальное количество памяти и поэтому стоит дешевле в производстве, чем ZR или ZC.

Основные характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные характеристики технологии ZigBee

Название	Стандарт	Назначение	Скорость передачи данных	Радиус действия	Частота
ZigBee	802.15.4	Персональная локальная сеть	от 20 до 250 Кбит/с	1—100 м	2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов), 868 МГц (один канал)

## Сотовая связь

Сотовая связь – это вид радиосвязи, в основе которого лежит сотовая сеть. Ключевая особенность заключается в том, что общая зона покрытия делится на ячейки (соты), определяющиеся зонами покрытия отдельных базовых станций. Соты частично перекрываются и вместе образуют сеть. На идеальной (ровной и без застройки) поверхности зона покрытия одной базовой станции представляет собой круг, поэтому составленная из них сеть, имеет вид шестиугольных ячеек (сот).

Сеть составляют разнесённые в пространстве приёмопередатчики, работающие в одном и том же частотном диапазоне, и коммутирующее оборудование, позволяющее определять текущее местоположение подвижных абонентов и обеспечивать непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одного приёмопередатчика в зону действия другого (см. рисунок 20).

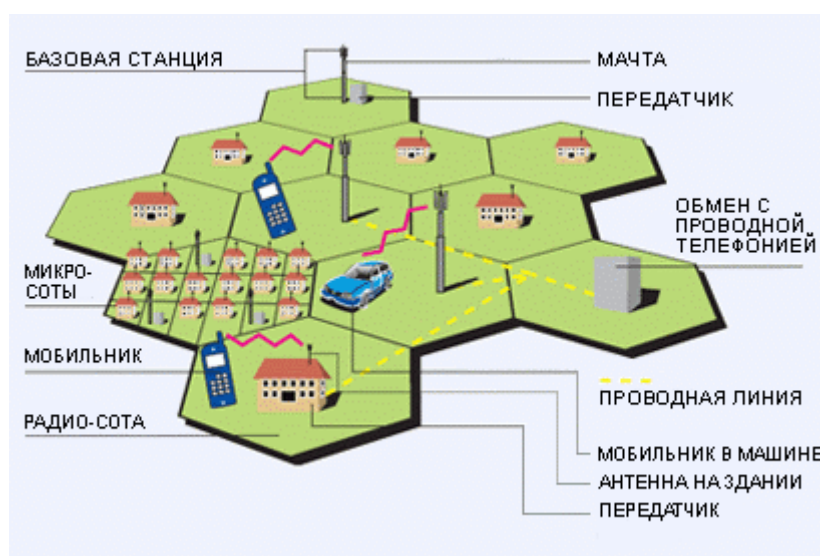


Рисунок 20 – Организация сотовой связи

## Стандарты сотовой связи для беспроводных сетей

**LTE** – стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными. Он основан на GSM/EDGE и UMTS/HSPA сетевых технологиях, увеличивая

пропускную способность и скорость за счёт использования другого радиointерфейса вместе с улучшением ядра сети [1].

Радиус действия базовой станции LTE зависит от мощности излучения и теоретически не ограничен, а максимальная скорость передачи данных зависит от радиочастоты и удалённости от базовой станции. Теоретический предел для скорости в 1 Мбит/сек – от 3,2 км (2600 МГц) до 19,7 км (450 МГц).

Диапазон 1800 МГц – наиболее используемый в мире, он сочетает в себе высокую емкость и относительно большой радиус действия (6,8 км).

Спецификация LTE позволяет обеспечить скорость загрузки до 326,4 Мбит/с, скорость отдачи до 172,8 Мбит/с, а задержка в передаче данных может быть снижена до 5 миллисекунд. LTE поддерживает полосы пропускания частот от 1,4 МГц до 20 МГц и поддерживает как частотное разделение каналов, так и временное разделение.

**WiMAX** – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов).

WiMAX сети состоят из следующих основных частей: базовых и абонентских станций, а также оборудования, связывающего базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с Интернетом.

Для соединения базовой станции с абонентской используется высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приёмником.

Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/с. При этом, по крайней мере, одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических



проводных соединений. Однако, чем большее число БС подключено к сетям провайдера, тем выше скорость передачи данных и надёжность сети в целом.

Структура сетей семейства стандартов IEEE 802.16 имеет схожесть с традиционными GSM сетями (базовые станции действуют на расстояниях до десятков километров, для их установки не обязательно строить вышки – допускается установка на крышах домов при соблюдении условия прямой видимости между станциями) [6].

## 4 Контроллеры

Датчик, который можно запрограммировать на выполнение измерений, преобразование данных в сигналы и их отправку на основное устройство, – это контроллер.

Контроллером в системах автоматизации называют устройство, выполняющее управление физическими процессами по записанному в него алгоритму, с использованием информации, получаемой от датчиков и выводимой в исполнительные устройства.

Он отвечает за сбор данных от датчиков и за подключение к Интернету. Контроллеры самостоятельно могут принимать решения или же отправлять данные для анализа компьютеру. Такой компьютер может находиться в той же локальной сети, что и контроллер, или же доступен через интернет-подключение.

Для того чтобы получить доступ к Интернету, а дальше к компьютеру, в центре обработки данных сначала компьютер отправляет данные на локальный маршрутизатор, который, с свою очередь, соединяет локальную сеть с Интернетом и может предавать данные между ними.

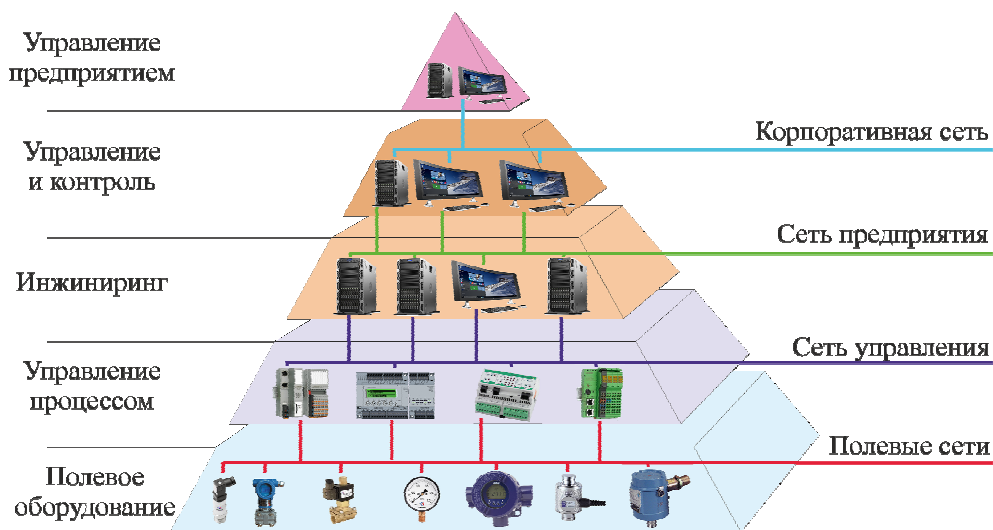


Рисунок 21 – Пример промышленных сетей

## 4.1 Программируемые логические контроллеры (ПЛК)

В области автоматизации существует множество задач, в соответствии с которыми развивается и рынок, содержащий сотни непохожих друг на друга контроллеров, различающихся десятками параметров. Каждый производитель выпускает несколько типов ПЛК разной мощности и стоимости, чтобы увеличить прибыль за счет сегментирования рынка.

Выбор оптимального для конкретной задачи контроллера основывается на соответствии функциональных характеристик контроллера решаемой задаче при условии минимальной его стоимости. Учитываются также другие важные характеристики (температурный диапазон, надежность, бренд изготовителя, наличие разрешений Ростехнадзора, сертификатов и т. п.).

Несмотря на огромное разнообразие контроллеров, в их развитии заметны следующие тенденции:

- уменьшение габаритов;
- расширение функциональных возможностей;
- увеличение количества поддерживаемых интерфейсов и сетей;
- использование идеологии «открытых систем»;
- использование языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- снижение цены.

Еще одной тенденцией является появление в контроллерах признаков компьютера (наличие мыши, клавиатуры, монитора, ОС Windows, возможности подключения жесткого диска), а в компьютерах аналогичные признаки контроллера (расширенный температурный диапазон, электронный диск, защита от пыли и влаги, крепление на DIN-рейку, наличие сторожевого таймера, увеличенное количество коммуникационных портов, использование ОС жесткого реального времени, функции самотестирования и диагностики, контроль целостности прикладной программы). Появились компьютеры, аппаратные различия между которыми постепенно исчезают. Основными

отличительными признаками контроллера остаются его назначение и наличие технологического языка программирования.

## Типы ПЛК

Для классификации огромного разнообразия существующих в настоящее время контроллеров рассмотрим их существенные различия.

Основным показателем ПЛК является количество каналов ввода-вывода. По этому признаку ПЛК делятся на следующие группы:

- нано-ПЛК (менее 16 каналов);
- микро-ПЛК (более 16, до 100 каналов);
- средние (более 100, до 500 каналов);
- большие (более 500 каналов).

По расположению модулей ввода-вывода ПЛК бывают:

*моноблочными* – в которых устройство ввода-вывода не может быть удалено из контроллера или заменено на другое. Конструктивно контроллер представляет собой единое целое с устройствами ввода-вывода (например, одноплатный контроллер). Моноблочный контроллер может иметь, например, 16 каналов дискретного ввода и 8 каналов релейного вывода;

*модульные* – состоящие из общей корзины (шасси), в которой располагаются модуль центрального процессора и сменные модули ввода-вывода. Состав модулей выбирается пользователем в зависимости от решаемой задачи. Типовое количество слотов для сменных модулей – от 8 до 32;

*распределенные (с удаленными модулями ввода-вывода)* – в которых модули ввода-вывода выполнены в отдельных корпусах, соединяются с модулем контроллера по сети (обычно на основе интерфейса RS-485) и могут быть расположены на расстоянии до 1,2 км от процессорного модуля.

Часто перечисленные конструктивные типы контроллеров комбинируются, например, моноблочный контроллер может иметь несколько съемных плат; моноблочный и модульный контроллеры могут быть дополнены

удаленными модулями ввода-вывода, чтобы увеличить общее количество каналов.

Многие контроллеры имеют набор сменных процессорных плат разной производительности. Это позволяет расширить круг потенциальных пользователей системы без изменения ее конструктива.

По конструктивному исполнению и способу крепления контроллеры делятся на:

- панельные (для монтажа на панель или дверцу шкафа);
- для монтажа на DIN-рейку внутри шкафа;
- для крепления на стене;
- стоечные – для монтажа в стойке;
- бескорпусные (обычно одноплатные) для применения в специализированных конструктивах производителей оборудования (ОЕМ – "Original Equipment Manufacturer").

По области применения контроллеры делятся на следующие типы:

- универсальные общепромышленные;
- для управления роботами;
- для управления позиционированием и перемещением;
- коммуникационные;
- ПИД-контроллеры;
- специализированные.

По способу программирования контроллеры бывают:

- программируемые с лицевой панели контроллера;
- программируемые переносным программатором;
- программируемые с помощью дисплея, мыши и клавиатуры;
- программируемые с помощью персонального компьютера.

Контроллеры могут программироваться на следующих языках:

- на классических алгоритмических языках (C, C#, Visual Basic);

- на языках МЭК 61131-3.

Контроллеры могут содержать в своем составе модули ввода-вывода или не содержать их. Примерами контроллеров без модулей ввода-вывода являются коммуникационные контроллеры, которые выполняют функцию межсетевого шлюза, или контроллеры, получающие данные от контроллеров нижнего уровня иерархии АСУ ТП.

## Архитектура промышленных контроллеров

Архитектурой контроллера называют набор его основных компонентов и связей между ними. Типовой состав ПЛК включает центральный процессор, память, сетевые интерфейсы и устройства ввода-вывода. Иногда эта конфигурация дополняется устройством для программирования и пультом оператора, устройствами индикации, реже – принтером, клавиатурой, мышью или трекболом.

Процессорный модуль включает в себя микропроцессор (центральное процессорное устройство – ЦПУ), запоминающие устройства, часы реального времени и сторожевой таймер. Термины «микропроцессор» и «процессор» в настоящее время стали синонимами, поскольку все вновь выпускаемые процессоры выполняются в виде СБИС, т.е. являются микропроцессорами.

Основными характеристиками микропроцессора являются разрядность (в ПЛК используются 8-ми, 16-ти и 32-разрядные микропроцессоры), тактовая частота, архитектура, наличие операций с плавающей точкой, типы поддерживаемых портов ввода-вывода, температурный диапазон работоспособности и потребляемая мощность.

Производительность микропроцессоров с одной и той же архитектурой пропорциональна тактовой частоте. Большинство контроллеров используют микропроцессоры с сокращенным набором команд (RISC – Reduced Instruction Set Computing), в которых используется небольшое количество команд одинаковой длины и большое количество регистров. Сокращенный набор

команд позволяет строить более эффективные компиляторы и конвейер процессора, способный за каждый такт выдавать результат исполнения очередной команды.

Для контроллеров, выполняющих интенсивную математическую обработку данных, важно наличие математического сопроцессора (вспомогательного процессора, выполняющего операции с плавающей точкой) или сигнальных процессоров, в которых операции типа  $Y=A*B+X$  выполняются за один такт. Сигнальные процессоры позволяют ускорить выполнение операций свертки или быстрого преобразования Фурье.

Емкость памяти определяет количество переменных (тегов), которые могут быть обработаны в процессе функционирования ПЛК. В микропроцессорах время доступа к памяти является одним из существенных факторов, ограничивающих быстродействие. Поэтому память делят на несколько уровней иерархии, в зависимости от частоты использования хранящихся в ней данных и быстродействия. Иерархия памяти относится к существенным характеристикам архитектуры процессора, поскольку она позволяет снизить отрицательное влияние медленной памяти на быстродействие микропроцессора. Основными типами памяти является постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и набор регистров. Регистры являются самыми быстродействующими элементами памяти, поскольку они используются арифметико-логическим устройством (АЛУ) для исполнения элементарных команд процессора. ПЗУ используют для хранения редко изменяемой информации, такой как операционная система, драйверы устройств, загрузчик, исполняемый модуль программы пользователя. ОЗУ используется для хранения данных, которые многократно изменяются в процессе работы контроллера, например, значения тегов, результаты промежуточных вычислений, диагностическая информация, массивы, выводимые на графики, данные для отображения на дисплее.

В качестве ПЗУ (или ROM – «Read Only Memory») обычно используется электрически стираемая перепрограммируемая память (EEPROM – «Electrically Erasable Programmable ROM»). Разновидностью EEPROM является флэш-память, принцип действия которой основан на хранении заряда в конденсаторе, образованном плавающим затвором и подложкой МОП-транзистора. Особенностью флэш-памяти является ее энергонезависимость, т.е. сохраняемость данных при выключенном питании. Стирание и перезапись во флэш-памяти выполняется не отдельными ячейками, а большими блоками, поэтому она получила название, происходящее от английского «flash» – «вспышка». Недостатком всех ПЗУ является низкое быстродействие.

Количество циклов записи информации во флэш-память ограничено и составляет несколько десятков тысяч раз. По конструктивному исполнению и интерфейсам флэш-память подразделяется на Compact Flash (CF), Memory Stick, Secure Digital (SD), MultiMediaCard (MMC), RS-MMC, SmartMedia Card (SMC), USB-flash. Флэш-память может быть впаяна в печатную плату или быть съемной.

В качестве ОЗУ современные микропроцессоры используют статическую память (SRAM – Static Random Access Memory) и динамическую (DRAM – «Dynamic Random Access Memory»), SDRAM («Synchronous DRAM»). SRAM выполняется на триггерах, информация в которых сохраняется неограниченно долго при наличии питания. В динамической памяти информация хранится на конденсаторах, и поэтому DRAM требует периодической регенерации (перезарядки конденсаторов). К недостаткам триггерной памяти относится ее высокая стоимость, связанная с низкой плотностью компоновки триггеров на кристалле, и малое отношение емкости к цене. Достоинством является высокое быстродействие, достигающее гигагерц, в то время как память на конденсаторах не может работать на частотах выше сотен герц. Оба типа памяти (DRAM и SRAM) не могут сохранять информацию при отключении питания ПЛК. Поэтому некоторые типы ПЛК используют батарейное питание



памяти для сохранения работоспособности системы автоматизации после кратковременного прерывания питания.

Моноблочные и модульные контроллеры используют, как правило, параллельную шину для обмена данными с модулями ввода-вывода, что позволяет на порядок повысить быстродействие их опроса по сравнению с последовательной шиной. Параллельные шины могут быть стандартными (ISA, PC/104, PCI, ComactPCI, VME, CXM) или частнофирменными. Последовательная шина контроллера (на основе интерфейса RS-485) используется для подключения к нему удаленных (распределенных) модулей ввода-вывода.

Программирование контроллеров малой мощности выполняется с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели или с помощью переносного пульта для программирования. В качестве пульта в последнее время используется компьютер формата «ноутбук». Программирование мощных контроллеров выполняется с помощью персонального компьютера, на котором устанавливается специальное программное обеспечение, например CoDeSys или ISaGRAF (см. раздел «Программное обеспечение»), выполняющее трансляцию технологического языка стандарта МЭК 61131-3 в исполняемый код процессора, который загружается в ПЗУ ПЛК, например через порт Ethernet.

Сторожевой таймер (Watchdog Timer – WDT) представляет собой счетчик, который считает импульсы тактового генератора и в нормальном режиме периодически сбрасывается (перезапускается) работающим процессором. Если процессор «зависает», то сигналы сброса не поступают в счетчик, он продолжает считать и при достижении некоторого порога вырабатывает сигнал «Сброс» для перезапуска «зависшего» процессора.

Часы реального времени (РВ) представляют собой кварцевые часы, которые питаются от батарейки и поэтому продолжают идти при выключенном ПЛК. Часы РВ используются, например, для управления уличным освещением

в зависимости от времени суток, в системах охраны объектов и других случаях, когда необходима привязка данных или событий к астрономическому времени.

### Источник питания контроллеров

Стандартными напряжениями питания ПЛК являются напряжения 12 В, 24 и 48 В. Источником электрической энергии обычно является промышленная сеть 220В, 50 Гц. В случае распределенных систем автоматизации источник питания может быть расположен вдали от ПЛК, поэтому напряжение на клеммах ПЛК или модулей ввода-вывода может сильно отличаться от напряжения источника питания вследствие падения напряжения на сопротивлении кабеля. Для решения этой проблемы каждый ПЛК или каждый модуль удаленного ввода снабжаются встроенным стабилизатором напряжения, который обеспечивает нормальное их функционирование в диапазоне напряжений от 10 до 30 В.

Низкое напряжение питания позволяет питать контроллеры от аккумуляторов бортовых сетей транспортных средств или переносных аккумуляторов.

В ПЛК иногда используют батарею для питания часов реального времени (которые должны функционировать при выключенном ПЛК) и для сохранения информации в ПЗУ на время аварийных перерывов питания.

### Характеристики промышленных контроллеров

Производительность ПЛК оценивается по следующим параметрам:

- длительность контроллерного цикла (период считывания значений из каналов ввода, обработки в процессоре и записи в каналы вывода);
- время выполнения команд (отдельно логических, с фиксированной и с плавающей точкой);
- пропускная способность шины между контроллером и модулями ввода-вывода;

- пропускная способность промышленной сети;
- время цикла опроса всех контроллеров в одномастерной сети или цикл обращения маркера для многомастерных сетей с маркером (см. раздел «Промышленные сети и интерфейсы»);
- время реакции.

Контроллер в системах автоматизации выполняет циклический алгоритм, включающий ввод данных и размещение их в ОЗУ, обработку данных и вывод. Длительность контроллерного цикла (его еще называют рабочим циклом) зависит от количества модулей ввода-вывода и наличия в них замаскированных (исключенных из процедуры обмена) входов-выходов, поэтому рассчитывается для каждой конфигурации автоматизированной системы отдельно. При интенсивной математической обработке данных (например, при цифровой фильтрации, интерполяции или идентификации объекта управления в режиме нормального функционирования системы) длительность контроллерного цикла существенно зависит от быстродействия процессорного модуля. В контроллерный цикл входит также обслуживание аппаратных ресурсов ПЛК (обеспечение работы системных таймеров, оперативное самотестирование, индикация состояния), контроль времени цикла, сетевой обмен, управление многозадачностью, отображение процесса выполнения программы на дисплее и т.п.

Перед началом работы ПЛК выполняет загрузку операционной системы и программы пользователя в ОЗУ и ПЗУ, начальное тестирование аппаратуры. ПЛК обычно может работать в режиме отладки, пошагового выполнения программы, просмотра и редактирования значений переменных и т. п.

В процессе функционирования ПЛК данные, введенные из устройств ввода, располагаются в ОЗУ и в течение рабочего цикла контроллера не изменяются. Прямое чтение входа во время выполнения одного цикла не выполняется. Это ускоряет процесс обработки данных и исключает непредвиденные ситуации.

В системах с распределенными по объекту модулями ввода-вывода длительность контроллерного цикла может определяться пропускной способностью промышленной сети, что в ряде случаев является ограничением на предельное количество модулей ввода-вывода.

Требования к длительности контроллерного цикла существенно зависят от области применения ПЛК. При управлении тепловыми процессами длительность цикла может составлять единицы и десятки секунд, в задачах для управления станками она измеряется миллисекундами, при опросе датчиков температуры на элеваторе контроллерный цикл измеряется сутками.

Время реакции контроллера – это интервал времени от момента появления воздействия на систему (со стороны модулей ввода или оператора) до момента выработки соответствующей реакции. Время реакции зависит от длительности рабочего цикла контроллера, которое определяется быстродействием модулей ввода-вывода и производительностью процессора.

В контроллерах для систем противоаварийной защиты (ПАЗ) и сигнализации, а также для опасных промышленных объектов может быть предусмотрена возможность резервирования отдельных частей системы: промышленной сети, процессорного модуля или контроллера, источника питания, сетевого сервера, замкнутых контуров автоматического регулирования, модулей ввода-вывода. Объектом резервирования обычно является наиболее ответственная или наиболее ненадежная часть системы.

Возможность горячей замены элементов системы (т.е. без отключения питания) достигается одновременно аппаратными и программными средствами. Аппаратно предусматривается независимость начального состояния устройства от очередности подачи сигналов на его клеммы в процессе замены; программно обеспечивается возможность временного отсутствия компонента системы без ее зависания или перехода в аварийные режимы.

Надежность контроллеров характеризуется наработкой на отказ, которая определяется как отношение суммарного времени работоспособного состояния

контроллера к математическому ожиданию числа его отказов в течение этого времени (ГОСТ 27.002-89) или наработкой до отказа – временем от начала эксплуатации до первого отказа. Надежность связана с допустимыми механическими перегрузками – амплитудой вибрации в требуемом диапазоне частот, допустимым ускорением при ударе.

### Устройства сбора данных

Автоматизированные системы сбора данных в настоящее время являются общедоступным средством получения экспериментальной информации и связано это, в первую очередь, с широким распространением персональных компьютеров. Системы сбора данных находят применение для научных исследований, управления производственными процессами, мониторинга в промышленности, медицине, метеорологии, космонавтике и других областях человеческой деятельности. Автоматизированный сбор данных позволяет получить данные нового качества, которые невозможно получить иными средствами. Это результаты статистической обработки огромного числа измерений, полученных в цифровой форме, возможность регистрации случайно появляющихся событий с недостижимой ранее разрешающей способностью по времени и амплитуде, регистрация быстроизменяющихся процессов. Благодаря резкому удешевлению систем сбора данных по сравнению со стоимостью человеческого труда появилось большое количество областей применения, где ранее использовалась ручная регистрация данных: в теплицах, элеваторах, на метеостанциях, в процессе приемо-сдаточных и сертификационных испытаний продукции, на складах, в промышленных холодильниках, при автоматизации научного эксперимента и т. п.

Основным отличием систем сбора данных от ПЛК является отсутствие в них алгоритма управления, т.е. отсутствие необходимости в мощном контроллере и языке МЭК 61131-3, а также наличие большого объема памяти для ведения архива. Хотя системы сбора данных можно построить на любом

ПЛК, но в связи с указанными выше особенностями они занимают отдельный сегмент рынка и их выделяют в отдельную группу средств автоматизации.

Системы сбора данных могут применяться в реальном времени, например, для мониторинга (наблюдения) различных процессов, идентификации аварийных ситуаций в технологических процессах, а также могут применяться для архивирования данных, когда их обработка отделена от процесса сбора неопределенным интервалом времени. В системах реального времени текущие данные сохраняются в течение некоторого заданного времени в кольцевом буфере, откуда устаревшие данные вытесняются вновь поступившими. В архивирующих системах используются накопители информации большой емкости, и данные обрабатываются после завершения сбора.

Архивирующие системы сбора данных (логгеры, самописцы) могут быть автономными устройствами, построенными на основе микроконтроллера (например, бортовые самописцы самолетов, электронные счетчики тепла или электроэнергии, портативные электрокардиографы). Данные, собранные логгерами, для обработки переносятся в компьютер с помощью, например, USB флэш-памяти или через последовательный интерфейс.

Системы сбора данных, построенные на основе компьютера, обычно являются стационарными и используют универсальное программное обеспечение, такое как Matlab, LabView, MS Excel, которое позволяет не только собрать данные, но и обработать их.

Для регистрации быстропротекающих процессов (с требуемой частотой отсчетов более 1 МГц) используются системы с параллельной шиной, в том числе платы для шины PCI компьютера. Компьютерные платы имеют ограниченное количество входов, что определяется компьютерным конструктивом, и требуют внешних клеммных блоков для подсоединения источников сигнала, создавая неудобства при монтаже системы.

Для регистрации медленных процессов удобнее внешние устройства, подключаемые к компьютеру через COM, USB или Ethernet порт. Внешние устройства отличаются также меньшим уровнем шумов, в то время как платы, вставляемые в компьютер, подвержены влиянию наводок от цифровых цепей компьютера.

Система сбора данных может быть распределенной, когда устройства ввода распределены территориально по объекту сбора данных, а полученные данные сходятся к единому накопителю и обработчику данных с помощью сетевых технологий. Сетевые (распределенные) системы сбора данных имеют свойство практически неограниченной наращиваемости числа каналов, однако имеют ограничение на скорость передачи данных по сети.

Для типовых задач сбора данных промышленностью выпускаются устройства с небольшим количеством входов (от нескольких десятков до нескольких сотен). Для больших систем (от единиц до сотен тысяч входов) разрабатываются специализированные системы. К ним можно, например, отнести систему "Грейн" для температурного мониторинга элеваторов, которая собирает данные с нескольких тысяч датчиков температуры, или систему "COMPASS", собирающую данные с 250 тыс. датчиков в ядерном центре CERN со скоростью 160 Мбит/с.

Входы систем сбора данных могут быть универсальными (потенциальными и токовыми) или специализированными (например, для термопар, для термопреобразователей сопротивления или для тензодатчиков). Системы со специализированными входами экономически более эффективны для потребителя. Универсальные входы используются совместно с измерительными преобразователями физических величин в ток или напряжение. Существуют также системы с гибридными входами, например, когда несколько входов принимают сигналы термопар, другие входы – сигналы тензодатчиков, третьи – сигналы термометров сопротивления и т. д.

Входы могут быть дифференциальными, одиночными, цифровыми или дискретными (двоичными). Дифференциальные входы позволяют более эффективно подавлять внешние помехи, наводимые на кабель, передающий сигнал от датчика к модулю ввода. Для передачи сигнала чаще всего используется напряжение в диапазоне  $0...±5$  В,  $0...±10$  В или ток  $0...20$  мА,  $4...20$  мА. Сигналы напряжения вырабатываются источниками напряжения и имеют высокую помехоустойчивость к емкостным наводкам, сигналы тока вырабатываются источниками тока и устойчивы к индуктивным наводкам. Дискретные входы принимают логические сигналы ("0" или "1"), которые поступают от концевых выключателей, датчиков охранной или пожарной сигнализации, электромагнитных реле, датчиков наличия напряжения и т. п. Цифровые входы принимают сигналы от устройств с цифровым выходом, например, от цифровых датчиков температуры.

Основными параметрами систем сбора данных являются количество каналов, погрешность, динамическая погрешность, время установления или полоса пропускания, разрешающая способность, эффективное число разрядов, частота дискретизации, наличие гальванической изоляции входов и интерфейса, наличие защит от небрежного использования, перегрузок и перегрева.

Системы сбора данных обычно имеют 4, 8, 16, 32, 64 ... входов, которые опрашиваются по очереди или одновременно. Системы с одновременным опросом состоят из идентичных каналов, которые выполняют аналого-цифровое преобразование входной величины параллельно, т.е. одновременно для всех каналов. Такие системы встречаются редко по причине высокой стоимости. Обычно опрос входов выполняется по очереди, с помощью коммутатора. Поэтому данные разных каналов оказываются сдвинутыми по времени на некоторую задержку, равную отношению периода опроса к количеству каналов.



Примером системы сбора данных может служить серия систем сбора данных RealLab! построенная по модульному принципу, т.е. систему с необходимым количеством входов можно собрать из модулей – отдельных строительных блоков. Модули соединяются между собой с помощью промышленного интерфейса RS-485 и располагаются либо в общем монтажном шкафу, либо распределены по объекту сбора данных таким образом, чтобы уменьшить длину кабеля от датчика к модулю. Собранные данные в цифровой форме передаются по промышленной сети в центральный компьютер или контроллер. Модули RealLab! могут работать в стандартных сетях Modbus RTU или в стандартной де-факто сети DCON, имеют открытый протокол обмена. Каждый модуль в сети имеет свой адрес, поэтому для опроса модулей компьютер посылает им команду, содержащую адрес и код операции, которую необходимо выполнить.

Приближение модулей ввода к датчикам имеет несколько преимуществ. Во-первых, сокращается количество проводов, поскольку цифровой интерфейс RS-485 имеет только два провода, а передает данные от большого количества модулей. Это удобно при сборе данных с территориально распределенных объектов, например, при сборе данных о температуре и влажности в теплице, которая имеет площадь 10 Га, в многоэтажном здании или на элеваторе. Во-вторых, снижается мощность наведенных помех благодаря сокращению длины проводов с аналоговыми сигналами, упрощается техническое обслуживание и диагностика системы.

Благодаря применению стандартного протокола обмена в систему сбора данных на модулях RealLab! могут быть включены устройства ввода других производителей, например, вольтметр фирмы Hewlett-Packard или кассовый аппарат, счетчик электроэнергии или метеостанция.

## 5 Протоколы прикладного уровня

### 5.1 HTTP протокол

**HTTP** (англ. HyperText Transfer Protocol – «протокол передачи гипертекста») – протокол прикладного уровня передачи данных (изначально в виде гипертекстовых документов в формате «HTML», в настоящий момент используется для передачи произвольных данных). В работе использует 80 порт.

Основой HTTP является технология «клиент-сервер», то есть предполагается существование:

- клиентов, которые инициируют соединение и посылают запрос;
- серверов, которые ожидают соединения для получения запроса, производят необходимые действия и возвращают обратно сообщение с результатом.

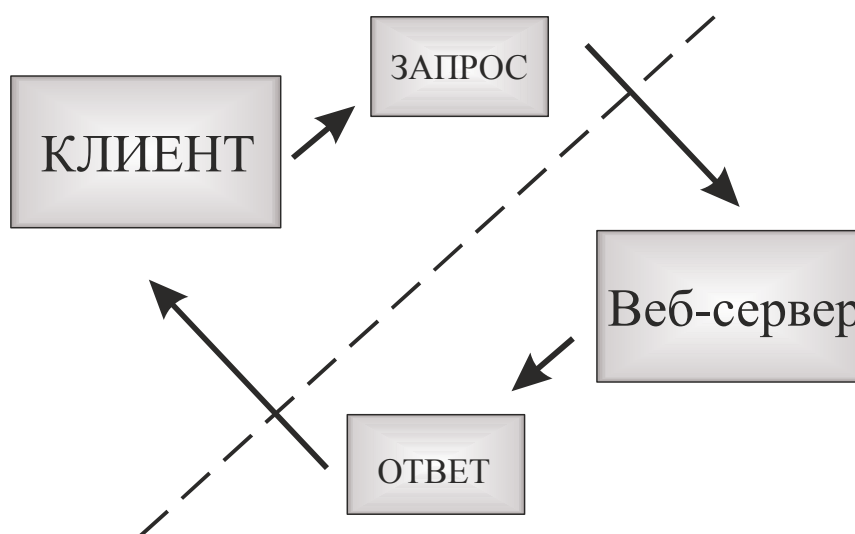


Рисунок 22 – Сетевое взаимодействие по протоколу http.

HTTP в настоящее время повсеместно используется в сети Интернет для получения информации с веб-сайтов.

Основным объектом работы в HTTP является ресурс, на который указывает URI (Uniform Resource Identifier) в запросе клиента. Обычно такими ресурсами являются хранящиеся на сервере файлы, но ими могут быть

логические объекты или что-то абстрактное. Особенностью протокола HTTP является возможность указать в запросе и ответе способ представления одного и того же ресурса по различным параметрам: формату, кодировке, языку и т. д. (в частности, для этого используется HTTP-заголовок). Именно благодаря возможности указания способа кодирования сообщения, клиент и сервер могут обмениваться двоичными данными, хотя данный протокол является текстовым.

Особенностью протокола HTTP является то, что он не сохраняет своего состояния. Это означает отсутствие сохранения промежуточного состояния между парами «запрос-ответ». Компоненты, использующие HTTP, могут самостоятельно осуществлять сохранение информации о состоянии, связанной с последними запросами и ответами (например, «куки» на стороне клиента, «сессии» на стороне сервера). Браузер, посылающий запросы, может отслеживать задержки ответов. Сервер может хранить IP-адреса и заголовки запросов последних клиентов. Однако сам протокол не осведомлён о предыдущих запросах и ответах, в нём не предусмотрена внутренняя поддержка состояния, к нему не предъявляются такие требования.

Основные свойства HTTP протокола:

- Глобальные URI. HTTP основывается на механизме именования URI. HTTP использует URI во всех транзакциях для идентификации ресурсов в сети.

- Обмен по схеме запрос-ответ. HTTP-запросы отправляются клиентами, получая затем ответы от серверов. Направление потока – от клиента к серверу; сервер не инициирует сетевой трафик.

- Отсутствие сохранения состояния. Состояние между запросами и ответами клиентами и серверами не сохраняется. Каждая пара запрос-ответ трактуется как независимый обмен сообщениями.

- Метаданные ресурсов. Информация о ресурсах часто включается в Web-транзакции и может быть использована различными способами.

## 5.2 FTP протокол

**FTP** (англ. File Transfer Protocol) – протокол, предназначенный для передачи файлов в компьютерных сетях. FTP позволяет подключаться к серверам FTP, просматривать содержимое каталогов и загружать файлы с сервера или на сервер; кроме того, возможен режим передачи файлов между серверами.

Отличительной особенностью FTP является использование двух TCP соединений для передачи данных.

1) **Управляющее соединение** устанавливается как обычное соединение клиент-сервер. Сервер осуществляет пассивное открытие на заранее известный порт FTP (21) и ожидает запроса на соединение от клиента. Клиент осуществляет активное открытие на TCP порт 21, чтобы установить управляющее соединение. Управляющее соединение существует все время, пока клиент общается с сервером. Это соединение используется для передачи команд от клиента к серверу и для передачи откликов от сервера.

2) **Соединение данных** открывается каждый раз, когда осуществляется передача файла между клиентом и сервером, а также при получении клиентом списка файлов (см. рисунок 23).

Обмен данными в FTP происходит по TCP-каналу. Обмен построен на технологии «клиент-сервер». FTP не может использоваться для передачи конфиденциальных данных, поскольку не обеспечивает защиты передаваемой информации и передает между сервером и клиентом открытый текст. FTP-сервер может потребовать от FTP-клиента аутентификации (т.е. при присоединении к серверу FTP-пользователь должен будет ввести свой идентификатор и пароль). Однако пароль и идентификатор пользователя будут переданы от клиента на сервер открытым текстом.

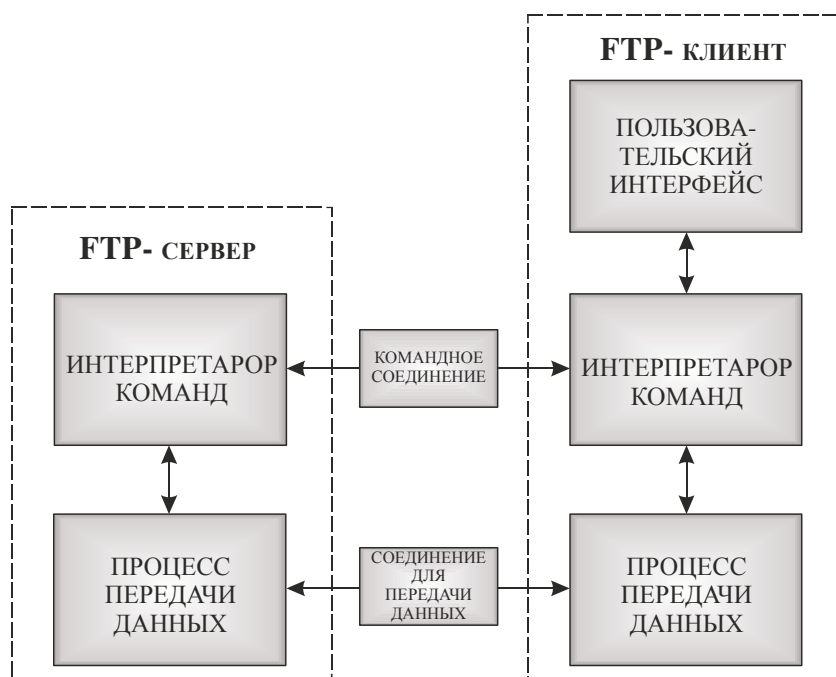


Рисунок 23 – Сетевое взаимодействие по протоколу ftp.

### 5.3 SMTP протокол

**SMTP** (англ. Simple Mail Transfer Protocol) – это сетевой протокол, предназначенный для передачи электронной почты в сетях TCP/IP.

Протокол SMTP поддерживает передачу сообщений электронной почты между произвольными узлами сети Интернет. Для работы через протокол SMTP клиент создаёт двухстороннее TCP соединение с сервером через порт 25. Затем клиент и SMTP-сервер обмениваются информацией, пока соединение не будет закрыто или прервано. Он служит для достоверной и надежной передачи сообщений между хостами сети Интернет (см. рисунок 24).

SMTP – протокол прикладного уровня, поэтому обычно над модулем SMTP располагается почтовая служба организаций. SMTP представляет собой независимый от транспортной подсистемы протокол, для работы которого необходим только транспортный канал передачи потока данных. Собственные механизмы промежуточного хранения почты и механизмы повышения надежности доставки позволяют протоколу SMTP использовать для работы различные транспортные службы. SMTP может работать по любому

транспортному каналу, удовлетворяющему требованиям передачи данных SMTP через различные сети или группы сетей.

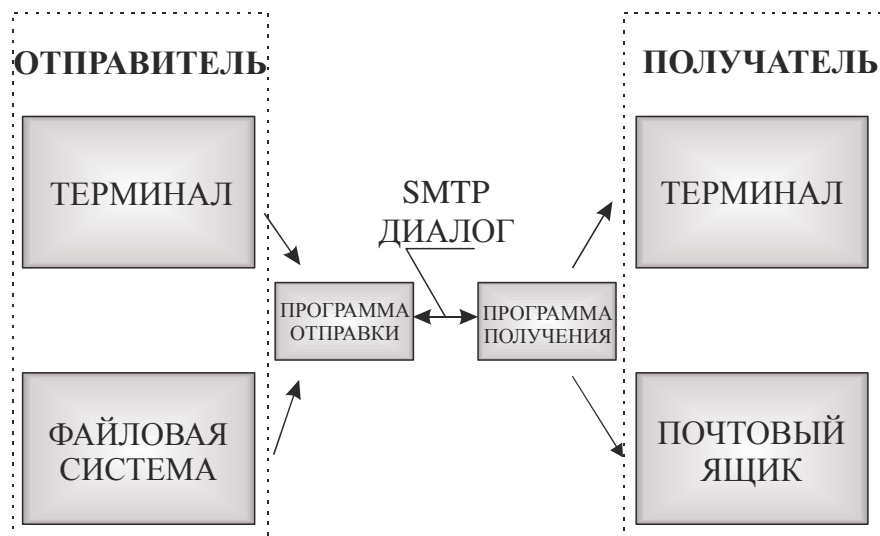


Рисунок 24 – Сетевое взаимодействие по протоколу smtp.

Протокол SMTP обеспечивает как передачу сообщений на адрес одного получателя, так и тиражирование нескольких копий сообщения для передачи на разные адреса. Протокол SMTP может передавать не только текстовые сообщения, но и двоичную информацию, такую как рисунки, исполняемые файлы и др. Двоичная информация, находящаяся в сообщении, перед отправкой определенным образом форматируется и, как правило, кодируется в 7-битный вид, хотя современные расширения протокола SMTP – ESMTP позволяют передавать данные в 8-битном виде. Форматирование и кодирование разнородной пользовательской информации производится почтовым клиентом, обеспечивающим доступ к сервису электронной почты.

#### 5.4 POP3 протокол

**POP3** – это простейший протокол для работы пользователя с содержимым своего почтового ящика. Он позволяет только забрать почту из почтового ящика сервера на рабочую станцию клиента и удалить ее из почтового ящика на сервере. Всю дальнейшую обработку почтовое сообщение проходит на компьютере клиента. Этот протокол позволяет рабочим станциям

динамически получать доступ к своим почтовым ящикам, расположенным на сервере, предназначенном для обслуживания электронной почты в данной организации.

POP3-сервер не отвечает за отправку почты, он работает только как универсальный почтовый ящик для группы пользователей. Когда пользователю необходимо отправить сообщение, он должен установить соединение с каким-либо SMTP-сервером и отправить туда свое сообщение по SMTP протоколу.

POP3-сервис, как правило, устанавливается на 110-й TCP-порт сервера, который будет находиться в режиме ожидания входящего соединения. Когда клиент хочет воспользоваться POP3-сервисом, он просто устанавливает TCP-соединение с портом 110 этого хоста. После установления соединения сервис POP3 отправляет подсоединившемуся клиенту приветственное сообщение. После этого клиент и сервер начинают обмен командами и данными. По окончании обмена POP3-канал закрывается.

## 6 Измерения. Датчики и измерительные средства.

*Измерение* – это организованное действие человека, выполняемое для количественного познания свойств физического объекта с помощью определения опытным путем значения какой-либо физической величины (измеряемой величины).

*Значение физической величины* – оценка физической величины в принятых для измерения данной величины единицах.

*Измеряемая физическая величина* – физическая величина, подлежащая измерению в соответствии с поставленной измерительной задачей.

*Влияющая физическая величина* – физическая величина непосредственно не измеряемая средством измерения, но оказывающая влияние на него или на объект измерения таким образом, что это приводит к искажению результата измерения.

Различают истинное и действительное значения измеряемой величины.

*Истинное значение физической величины* – это значение, которое идеальным образом отображало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

*Действительное значение физической величины* – это значение, найденное экспериментально и настолько приближенное к истинному значению, что для конкретной цели может быть использовано вместо него. Результат измерения – это именованное число, найденное путём измерения физической величины.

Точность измерений характеризуется близостью результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

Измерение включает в себя следующие понятия:

- объект измерения;
- цель измерения;



– условия измерения (совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды и объектов);

– метод измерения, т.е. совокупность приёмов использования принципов и средств измерений (принцип измерения – совокупность физических явлений, положенных в основу измерения);

– методика измерения, т.е. установленная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов в соответствии с данным методом.

– достоверность (характеризуется доверительной вероятностью, т.е. вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах);

– правильность (характеризуется значением систематической погрешности);

– сходимость (близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами и в одних и тех же условиях; отражает влияние случайных погрешностей на результат );

– воспроизводимость (близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых в разных местах, разными методами и средствами, но приведенных к одним и тем же условиям).

Классификация измерений.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются на:

- статические, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;

- динамические, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

По способу получения результатов измерений их разделяют на:

*Прямые* – это измерения, при которых значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. При прямых измерениях измеряемую величину сравнивают непосредственно с мерой или же находят с помощью измерительных приборов, градуированных в требуемых единицах.

*Косвенные* – это измерения, при которых неизвестную величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями, т.е. измеряют не собственно определяемую величину, а другие, функционально с ней связанные.

*Совокупные* – это производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых неизвестную величину определяют решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Например, определение номинальных масс отдельных гирь по образцовой массе какой-либо гири.

*Совместные* – это производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимостей между ними. Например, определение коэффициентов, связывающих зависимость сопротивления полупроводниковых материалов от температуры.

По характеру точности результатов единичных измерений при проведении многократных измерений:

- равноточные – измерения физических величин, выполненные одинаковыми по точности средствами измерений в одинаковых условиях;
- неравноточные.

По виду физических величин, измеряемых при прямых измерениях для получения результата косвенных измерений:

- абсолютные – измерения, основанные на прямых измерениях основных (в системе СИ) величин и на использовании значений физических констант;
- относительные – измерение отношения физической величины к одноименной.

По условиям определения точности результатов:

– метрологические – измерения, проводимые с помощью эталонов, образцовых средств, с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размеров рабочим средствам измерения;

– технические – измерения, проводимые с помощью рабочих средств;

– однократное измерение – измерение, выполненное один раз;

– многократное измерение – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, то есть состоящее из ряда однократных измерений;

– статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения;

– динамическое измерение – измерение, изменяющейся по размеру физической величины;

– абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант;

– относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Также стоит отметить, что в различных источниках дополнительно выделяют такие виды измерений: метрологические и технические, необходимые и избыточные и др.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Для точных измерений физических величин в метрологии разработаны приемы использования принципов и средств измерений, применение которых позволяет исключить из результатов измерений часть систематических погрешностей и тем самым освобождает экспериментатора от необходимости определять многочисленные поправки для их компенсации, а в некоторых

случаях вообще является предпосылкой получения сколько-нибудь достоверных результатов. Многие из этих приемов используют при измерении только определенных величин, существуют и некоторые общие приемы, названные методами измерения.

Метод непосредственной оценки, заключающийся в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например взвешивание на циферблатных весах, измерение давления пружинным манометром, определение силы тока амперметром.

Метод сравнения с мерой, заключающийся в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на измерительный прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между ними, называется методом противопоставления.

*Датчик, сенсор (от англ. sensor)* – термин систем управления, первичный преобразователь, элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину в удобный для использования сигнал.

В настоящее время различные датчики широко используются при построении систем автоматизированного управления.

Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют контролируемую величину (давление, температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

Исторически и логически датчики связаны с техникой измерений и измерительными приборами, например термометры, расходомеры, барометры, прибор «авиагоризонт» и т. д. Обобщающий термин датчик укрепился в связи с развитием автоматических систем управления как элемент обобщенной

логической концепции: датчик – устройство управления – исполнительное устройство – объект управления. В качестве отдельной категории использования датчиков в автоматических системах регистрации параметров можно выделить их применение в системах научных исследований и экспериментов.

### Применение датчиков

В последнее время в связи с удешевлением электронных систем всё чаще применяются датчики со сложной обработкой сигналов, возможностями настройки и регулирования параметров и стандартным интерфейсом системы управления. Имеется определённая тенденция расширительной трактовки и перенесения этого термина на измерительные приборы, появившиеся значительно ранее массированного использования датчиков, а также по аналогии – на объекты иной природы, например, биологические. Понятие датчика по практической направленности и деталям технической реализации близко к понятиям измерительный инструмент и измерительный прибор, но показания этих приборов в основном читаются человеком, а датчики, как правило, используются в автоматическом режиме.

### 6.1 Датчики температуры

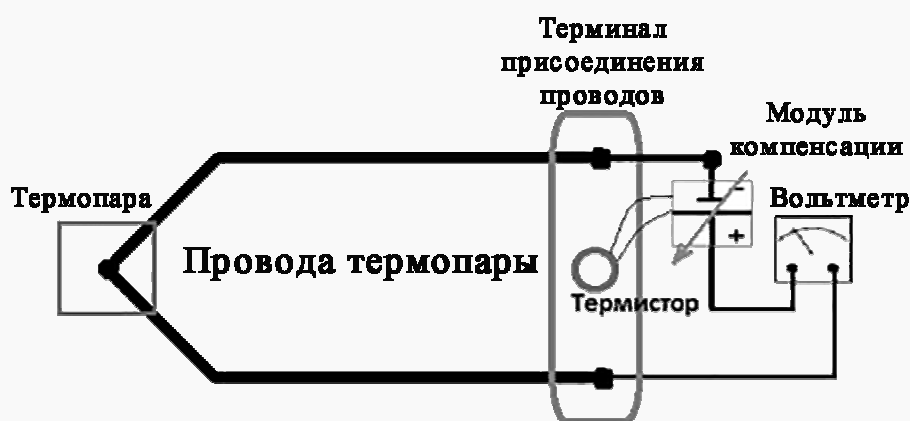


Рисунок 25 – Схема термодатчика

Схема термодатчика. При температуре спая нихрома и алюминий-никеля равной  $300^{\circ}\text{C}$  термоэдс составляет 12,2 мВ.

**Термопара** (термоэлектрический преобразователь температуры) – термоэлемент, применяемый в измерительных и преобразовательных устройствах, а также в системах автоматизации.

Международный стандарт на термопары МЭК 60584 (п.2.2) дает следующее определение термопары: Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце и формирующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.

Для измерения разности температур зон, ни в одной из которых не находится вторичный преобразователь (измеритель термо-ЭДС), удобно использовать дифференциальную термопару: две одинаковых термопары, соединенных навстречу друг другу. Каждая из них измеряет перепад температур между своим рабочим спаем и условным спаем, образованным концами термопар, подключёнными к клеммам вторичного преобразователя, но вторичный преобразователь измеряет разность их сигналов, таким образом, две термопары вместе измеряют перепад температур между своими рабочими спаями.

## 6.2 Принцип действия

Принцип действия основан на эффекте Зеебека или, иначе, термоэлектрическом эффекте.

Эффект Зеебека – явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах.

Эффект Зеебека также иногда называют просто термоэлектрическим эффектом.

Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает термо-ЭДС, если места контактов

поддерживают при разных температурах. Цепь, которая состоит только из двух различных проводников, называется термоэлементом или термопарой.

Величина возникающей, термо-ЭДС в первом приближении зависит только от материала проводников и температур горячего ( $T_1$ ) и холодного ( $T_2$ ) контактов.

В небольшом интервале температур термо-ЭДС  $E$  можно считать пропорциональной разности температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1),$$

где  $\alpha_{12}$  – термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термо-ЭДС).

В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако, строго говоря, он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры  $\alpha_{12}$  меняет знак.

Более корректное выражение для термо-ЭДС:

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}(T) dT$$

Величина термо-ЭДС составляет милливольты при разности температур в 100 К и температуре холодного спая в 0°С (например, пара медь-константан даёт 4,25 мВ, платина-платинородий – 0,643 мВ, нихром-никель – 4,1 мВ).

### **Способы подключения.**

Наиболее распространены два способа подключения термопары к измерительным преобразователям: простой и дифференциальный. В первом случае измерительный преобразователь подключается напрямую к двум термоэлектродам. Во втором случае используются два проводника с разными коэффициентами термо-ЭДС, спаянные в двух концах, а измерительный преобразователь включается в разрыв одного из проводников.

Для дистанционного подключения термопар используются удлинительные или компенсационные провода. Удлинительные провода изготавливаются из того же материала, что и термоэлектроды, но могут иметь

другой диаметр. Компенсационные провода используются в основном с термопарами из благородных металлов и имеют состав, отличный от состава термоэлектродов. Требования к проводам для подключения термопар установлены в стандарте МЭК 60584-3. Следующие основные рекомендации позволяют повысить точность измерительной системы, включающей термопарный датчик:

- миниатюрную термопару из очень тонкой проволоки следует подключать только с использованием удлинительных проводов большего диаметра;

- не допускать, по возможности, механических натяжений и вибраций термопарной проволоки;

- при использовании длинных удлинительных проводов, во избежание наводок, следует соединить экран провода с экраном вольтметра и тщательно перекручивать провода;

- по возможности избегать резких температурных градиентов по длине термопары;

- материал защитного чехла не должен загрязнять электроды термопары во всем рабочем диапазоне температур и должен обеспечить надежную защиту термопарной проволоки при работе во вредных условиях;

- использовать удлинительные провода в их рабочем диапазоне и при минимальных градиентах температур;

- для дополнительного контроля и диагностики измерений температуры применяют специальные термопары с четырьмя термоэлектродами, которые позволяют проводить дополнительные измерения сопротивления цепи для контроля целостности и надежности термопар.

#### Применение термопар

Для измерения температуры различных типов объектов и сред, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Термопары из вольфрам-ренийевого сплава являются самыми высокотемпературными



контактными датчиками температуры. Такие термопары незаменимы в металлургии для контроля температуры расплавленных металлов.

В 1920<sup>x</sup>-30<sup>x</sup> годах термопары использовались для питания детекторных приемников и других слаботочных приборов. Вполне возможно использование термогенераторов для подзарядки АКБ современных слаботочных приборов (телефоны, камеры и т.п.) с использованием открытого огня.

#### Преимущества термопар

- Высокая точность измерения значений температуры (вплоть до  $\pm 0,01$  °C).
- Большой температурный диапазон измерения: от  $-200$ °C до  $2500$ °C.
- Простота.
- Дешевизна.
- Надежность.

#### Недостатки

- Для получения высокой точности измерения температуры (до  $\pm 0,01$  °C) требуется индивидуальная градуировка термопары.
- На показания влияет температура свободных концов, на которую необходимо вносить поправку. В современных конструкциях измерителей на основе термопар используется измерение температуры блока холодных спаев с помощью встроенного термистора или полупроводникового сенсора и автоматическое введение поправки к измеренной ТЭДС.
- Эффект Пельтье (в момент снятия показаний, необходимо исключить протекание тока через термопару, так как ток, протекающий через неё, охлаждает горячий спай и разогревает холодный).
- Зависимость ТЭДС от температуры существенно нелинейна. Это создает трудности при разработке вторичных преобразователей сигнала.
- Возникновение термоэлектрической неоднородности в результате резких перепадов температур, механических напряжений, коррозии и

химических процессов в проводниках приводит к изменению градуировочной характеристики и погрешностям до 5 К.

- На большой длине термопарных и удлинительных проводов может возникать эффект «антенны» для существующих электромагнитных полей.

### 6.2.1 Типы термопар

Технические требования к термопарам определяются ГОСТ 6616-94. Стандартные таблицы для термоэлектрических термометров (НСХ), классы допуска и диапазоны измерений приведены в стандарте МЭК 60584-1,2 и в ГОСТ Р 8.585-2001.

- платинородий-платиновые — ТПП13 — Тип R
- платинородий-платиновые — ТПП10 — Тип S
- платинородий-платинородиевые — ТПР — Тип В
- железо-константановые (железо-медьникелевые) ТЖК — Тип J
- медь-константановые (медь-медьникелевые) ТМКн — Тип Т
- нихросил-нисилловые (никельхромникель-никелькремниевые) ТНН — Тип N.
- хромель-алюмелевые — ТХА — Тип К
- хромель-константановые ТХКн — Тип Е
- хромель-копелевые — ТХК — Тип L
- медь-копелевые — ТМК — Тип М
- силх-силиновые — ТСС — Тип I
- вольфрам и рений — вольфрамениевые — ТВР — Тип А-1, А-2, А-3

### 6.3 Термометр сопротивления

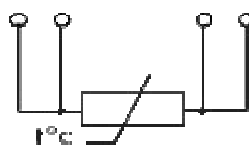


Рисунок 26 – схема термометра сопротивления

**Термометр сопротивления** – датчик для измерения температуры, сопротивление чувствительного элемента которого зависит от температуры. Может быть выполнен из металлического или полупроводникового материала. В последнем случае называется термистором.

### **Металлический термометр сопротивления**

Представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или плёнки и имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Наиболее распространённый тип термометров сопротивления – платиновые термометры. Это объясняется тем, что платина имеет высокий температурный коэффициент сопротивления и высокую стойкость к окислению. Эталонные термометры изготавливаются из платины высокой чистоты с температурным коэффициентом не менее 0,003925. В качестве рабочих средств измерений применяются также медные и никелевые термометры. Действующий стандарт на технические требования к рабочим термометрам сопротивления: ГОСТ Р 8.625-2006 (Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний). В стандарте приведены диапазоны, классы допуска, таблицы НСХ и стандартные зависимости сопротивление-температура. Стандарт соответствует международному стандарту МЭК 60751 (2008). В стандарте впервые отказались от нормирования конкретных номинальных сопротивлений. Сопротивление изготовленного термометра может быть любым. Промышленные платиновые термометры сопротивления в большинстве случаев используются со стандартной зависимостью сопротивление-температура (НСХ), что обуславливает погрешность не лучше 0,1°C (класс АА при 0°C). Термометры сопротивления на основе напыленной на подложку плёнки отличаются повышенной вибропрочностью, но меньшим диапазоном температур. Максимальный диапазон, в котором установлены классы допуска платиновых термометров для проволочных чувствительных элементов составляет 660°C (класс С), для плёночных 600°C (класс С).

## 6.4 Датчик давления

**Датчик давления** – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газы, пар). В датчиках давление измеряемой среды преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код.

### *Принципы реализации*

Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент – приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала. Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и другие.

### *Тензометрический метод*

Чувствительные элементы датчиков базируются на принципе изменения сопротивления деформации тензорезисторов, приклеенных к упругому элементу, который деформируется под действием давления.

### *Пьезорезистивный метод*

Основан на интегральных чувствительных элементах из монокристаллического кремния. Кремниевые преобразователи имеют высокую чувствительность благодаря изменению удельного объемного сопротивления полупроводника при деформировании давлением. Для измерения давления чистых неагрессивных сред применяются, так называемые, Low cost – решения, основанные на использовании чувствительных элементов либо без защиты, либо с защитой силиконовым гелем. Для измерения агрессивных сред и

большинства промышленных применений используется преобразователь давления в герметичном металло-стеклянном корпусе, с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, передающей давление измеряемой среды посредством кремнийорганической жидкости.

#### *Ёмкостной метод*

Ёмкостные преобразователи используют метод изменения ёмкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические или кремниевые ёмкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение емкости. В элементе из керамики или кремния пространство между обкладками обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью. Недостаток – нелинейная зависимость емкости от приложенного давления.

#### *Резонансный метод*

В основе метода лежит изменение резонансной частоты колеблющегося упругого элемента при деформировании его силой или давлением. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора. К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

#### *Индуктивный метод*

Основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном. Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в

фиксированной основной катушке, что приводит к изменению системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.

#### *Ионизационный метод*

В основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются ламповые диоды. Лампа оснащена двумя электродами: катодом и анодом, – а также нагревателем. В некоторых лампах последний отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. Преимуществом таких ламп является возможность регистрировать низкое давление – вплоть до глубокого вакуума с высокой точностью. Однако следует строго учитывать, что подобные приборы нельзя эксплуатировать, если давление в камере близко к атмосферному. Поэтому подобные преобразователи необходимо сочетать с другими датчиками давления, например, емкостными. Зависимость сигнала от давления является логарифмической.

#### *Пьезоэлектрический метод*

В основе лежит прямой пьезоэлектрический эффект, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе или давлению. Пьезоэлектрические датчики используются для измерения быстроменяющихся акустических и импульсных давлений, обладают широкими динамическими и частотными диапазонами, имеют малую массу и габариты, высокую надежность и могут использоваться в жестких условиях эксплуатации.

#### *Регистрация сигналов датчиков давления*

Сигналы с датчиков давления могут быть как медленноменяющимися, так и быстропеременными. В первом случае их спектр лежит в области низких частот. Для того чтобы с высокой точностью оцифровать такой сигнал, необходимо подавить высокочастотную часть спектра, полностью состоящую из помех. Это особенно актуально в промышленных условиях. Специально для

ввода медленноменяющихся сигналов используются интегрирующие АЦП. Они проводят измерение не мгновенного значения сигнала (которое изменяется под действием помех), а интегрируют сигнальную функцию за заданный промежуток времени, который заведомо меньше постоянной времени процессов, происходящих в контролируемой среде, но заведомо больше периода самой низкочастотной помехи. Интегрирующие АЦП выпускают многие зарубежные фирмы (Texas Instruments, Analog Devices и др).

Для измерения переменных давлений применяют датчики с аналоговым выходным сигналом, например, 0-20,4-20 мА и 0-5, 0,4-2 В.

Пьезоэлектрические датчики применяются для измерения быстропеременных процессов в диапазоне частот от единиц Гц до сотен кГц.

### 6.5 Датчики для измерения расхода

Расходомер – прибор, измеряющий расход вещества, проходящего через данное сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство со счетчиком и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют расходомером со счетчиком.

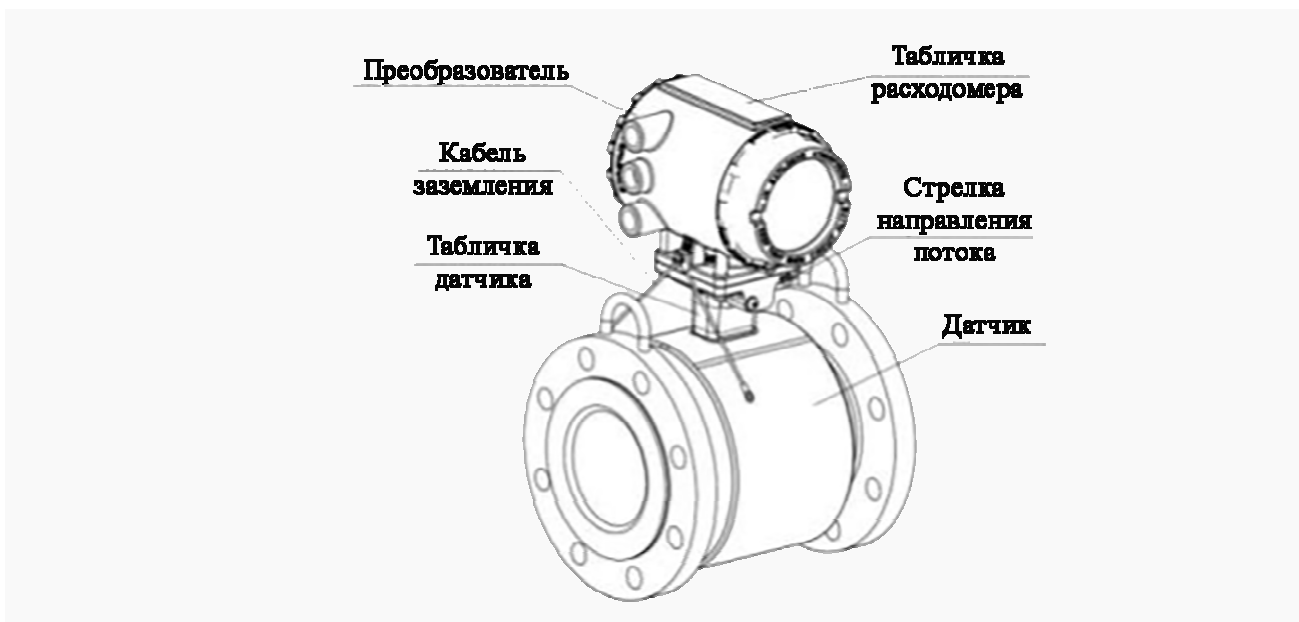


Рисунок 27 – Магнитный расходомер

## Ёмкость и секундомер

Возможно, самый простой способ измерить расход – это использовать некоторую ёмкость и секундомер. Поток жидкости направляется в некоторую ёмкость, и по секундомеру засекается время заполнения этой ёмкости. Зная объём ёмкости и поделив его на время её заполнения, можно узнать расход жидкости. Этот способ подразумевает прерывание нормального течения потока.

Впервые расходомер с овальными шестернями был изобретен компанией Vorr & Reuther (Германия) в 1932 году. Измеряемый элемент состоит из двух шестеренок овальной формы. Протекающая жидкость вращает данные шестеренки. При каждом обороте пары овальных колес через прибор проходит строго определенное количество жидкости. Считывая количество оборотов, можно точно определить, какой объём жидкости протекает через прибор. Данные расходомеры отличаются высокой точностью, надежностью и простотой, что позволяет их использовать для жидкостей с высокой температурой и под большим давлением. Отличительной особенностью расходомеров с овальными шестернями является возможность использования для жидкостей с высокой вязкостью (мазут, битум и т.д.).

## Расходомеры на базе объёмных гидромашин

В системах объёмного гидропривода для измерения объёмного расхода рабочей жидкости применяют объёмные гидромашинны (как правило, шестерённые или аксиально-плунжерные гидромашинны).

Объёмная гидромашинна, в этом случае, работает как гидродвигатель, но без нагрузки на валу. Тогда объёмный расход через гидромашинну можно определить по формуле:

$$Q = q_0 \cdot n,$$

где

Q – объёмный расход,



$q_0$  – рабочий объём гидромашины (определяется по паспорту гидромашины),

$n$  – частота вращения выходного вала гидромашины, которую можно измерить тахометром.

Объёмная гидромашинa пропускает через себя весь расход жидкости, что для объёмного гидропривода не представляет сложности ввиду малых расходов.

### Вентури-метры

Принцип действия расходомеров этого типа основан на эффекте Вентури. Вентури-расходомер сужает поток жидкости в некотором устройстве, и датчики давления измеряют разницу давлений перед указанным устройством и непосредственно в месте сужения. Этот метод измерения расхода использовался ещё во времена Римской империи и широко используется при транспортировке газов по трубопроводам в настоящее время.

Эффект Вентури заключается в падении давления, когда поток жидкости или газа протекает через суженную часть трубы.

Эффект Вентури является следствием уравнения Бернулли, определяющего связь между скоростью  $v$  жидкости, давлением  $p$  в ней и высотой  $h$  частиц над площадью отсчёта:

$$h + \frac{v}{2g} + \frac{p}{\rho g} = const ,$$

где

$\rho$  – плотность жидкости;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\frac{p}{\rho g}$  – пьезометрический напор;

$\frac{v^2}{2g}$  – динамический напор.

Если уравнение Бернулли записать для двух сечений потока, то будем иметь:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{p_2}{\rho}$$

Для горизонтального потока средние члены в левой и правой частях уравнения равны между собой и потому сокращаются, и равенство принимает вид:

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho},$$

то есть при установившемся горизонтальном течении идеальной несжимаемой жидкости в каждом её сечении сумма пьезометрического и динамического напоров будет постоянной. Для выполнения этого условия в тех местах потока, где средняя скорость жидкости выше (то есть в узких сечениях), её динамический напор увеличивается, а гидростатический напор уменьшается (и значит, уменьшается давление).

Эффект Вентури наблюдается или используется в следующих объектах:

- в гидроструйных насосах, в частности, в танкерах для продуктов нефтяной и химической промышленности;
- в горелках, которые смешивают воздух и горючие газы в гриле, газовой плите, горелке Бунзена и аэрографах;
- в трубках Вентури – сужающих элементах расходомеров Вентури;
- в расходомерах Вентури;
- в водяных аспираторах эжекторного типа, которые создают небольшие разрежения с использованием кинетической энергии водопроводной воды;
- пульверизаторах (опрыскивателях) для распыления краски, воды или ароматизации воздуха.
- карбюраторах, где эффект Вентури используется для всасывания бензина во входной воздушный поток двигателя внутреннего сгорания;
- в автоматизированных очистителях плавательных бассейнов, которые используют давление воды для собирания осадка и мусора;

- в кислородных масках для кислородной терапии и др.

Измерение расхода

Эффект Вентури может быть использован для измерения объёмного расхода  $Q$ .

Так как

$$\begin{cases} Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \\ p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2), \end{cases}$$

то

$$Q = A_1 \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left( \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}} = A_2 \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left( 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)}}$$

где

$A_1$  и  $A_2$  – площади поперечного сечения потоков, соответственно, в широкой и узкой частях потока;

$p_1$  и  $p_2$  – давления, соответственно, в широкой и узкой частях потока.

### **Дисковая диафрагма**

Диафрагма представляет собой диск со сквозным отверстием, вставленный в поток. Дисковая диафрагма сужает поток, и разница давлений, измеряемая перед и после диафрагмы, позволяет определить расход в потоке. Этот тип расходомера можно грубо считать одной из форм Вентури-метров, однако имеющую более высокие потери энергии. Существует три типа дисковых диафрагм: концентрические, эксцентриковые и сегментальные.

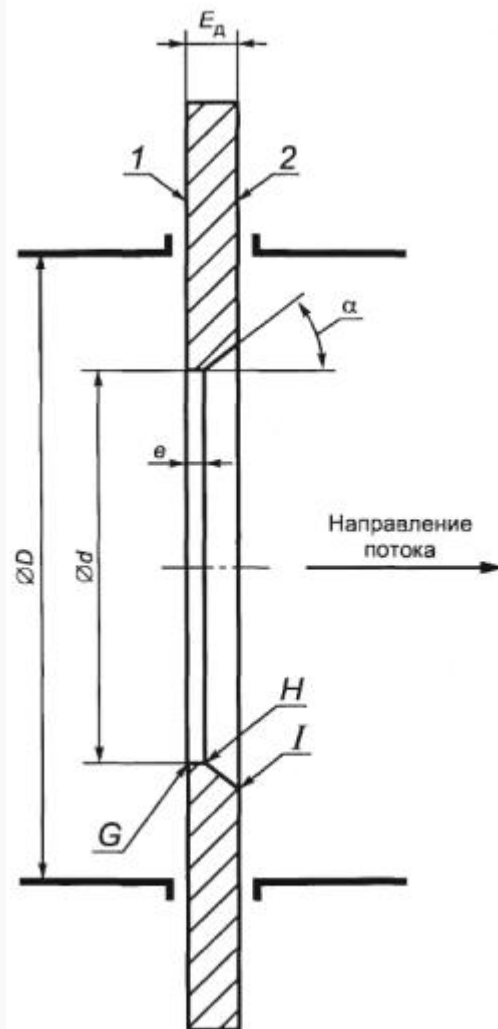


Рисунок 28 – ISO 5167 Дисквая диафрагма (входной торец диафрагмы; 2 - выходной торец диафрагмы)

### **Расходомеры на основе двух лазерных лучей**

Маленькие частички, которые неизбежно содержатся в природных и промышленных газах, проходят через два лазерных луча, направленных на поток от источника. Свет лазера рассеивается, когда частичка проходит через первый лазерный луч. Рассеянный лазерный луч поступает на фотодетектор, который в результате генерирует электрический импульсный сигнал. Если та же самая частица пересекает второй лазерный луч, то рассеянный лазерный свет поступает на второй фотодетектор, который генерирует второй импульсный электрический сигнал. Измеряя интервал времени между двумя этими импульсами, можно вычислить скорость газа по формуле  $V = D / T$ , где  $D$

– расстояние между двумя лазерными лучами,  $T$  – время между двумя импульсами. Зная скорость потока, можно определить расход ( $Q = VS$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения потока).

Основанные на лазерах расходомеры измеряют скорость частиц – параметр, который не зависит от теплопроводности, вида газа или его состава. Лазерная технология позволяет получать очень точные данные, причём даже в тех случаях, когда другие методы применять не удаётся или они дают большую погрешность: при высоких температурах, малых расходах, высоких давлениях, высокой влажности, вибрациях трубопроводов и акустическом шуме.

Оптические расходомеры способны измерять скорости потока от значений 0.1 м/с до более чем 100 м/с.

## 7 Исполнительные механизмы и регулирующие органы

Исполнительные механизмы – это устройства, механически воздействующие на физические процессы путем преобразования электрических сигналов в требуемое управляющее воздействие. Аналогично датчикам, исполнительные механизмы должны быть подобраны соответствующим образом для каждой задачи. Исполнительные механизмы могут быть бинарными, дискретными или аналоговыми. Конкретный тип для каждой задачи выбирается с учетом необходимой выходной мощности и быстродействия.



Рисунок 29 – Исполнительные механизмы

В общем случае электрический исполнительный механизм состоит из электропривода, редуктора, узла обратной связи, датчика указателя положения выходного элемента и конечных выключателей.

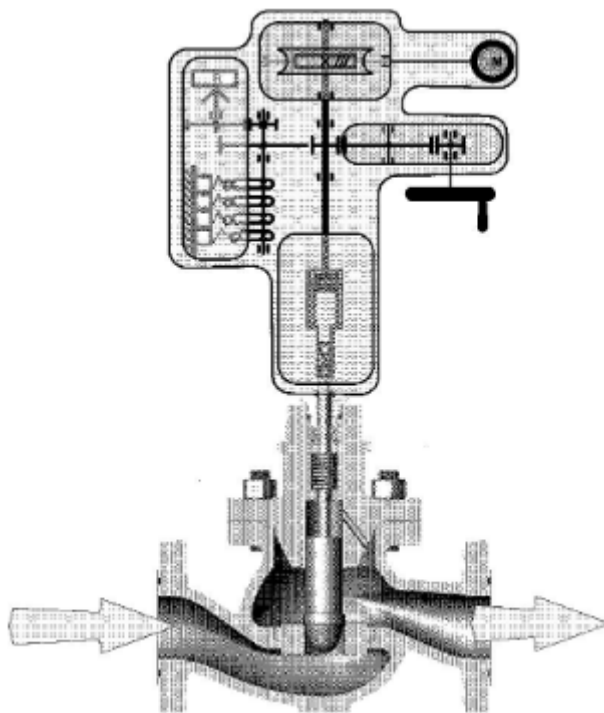


Рисунок 30 – Электрический исполнительный механизм

В качестве электропривода в исполнительных механизмах используются либо электромагниты, либо электродвигатели с понижающим редуктором для снижения скорости перемещения выходного элемента до величины, обеспечивающей возможность непосредственного соединения этого элемента (вала или штока) с рабочим органом.

Узлы обратной связи предназначены для введения в контур регулирования воздействия, пропорционального величине перемещения выходного элемента исполнительного механизма, а, следовательно, и сочлененного с ним рабочего органа. С помощью конечных выключателей производится отключение электропривода исполнительного механизма при достижении рабочим органом своих конечных положений во избежание возможных повреждений механических звеньев, а также для ограничения перемещения рабочего органа.

Как правило, мощность сигнала, вырабатываемого регулирующим устройством, бывает недостаточной для непосредственного перемещения рабочего органа, поэтому исполнительный механизм можно рассматривать как усилитель мощности, в котором слабый входной сигнал, усиливаясь во много раз, передается на рабочий орган.

Все электрические исполнительные механизмы, нашедшие широкое применение в самых различных отраслях современной техники автоматизации производственных процессов, можно разделить на две основные группы:

- 1) электромагнитные;
- 2) электродвигательные.

К первой группе относятся, прежде всего, **соленоидные электроприводы**, предназначенные для управления различного рода регулирующими и запорными клапанами, вентилями, золотниками и т. п. Сюда же можно отнести **исполнительные механизмы с различными видами электромагнитных муфт**. Характерная особенность электрических исполнительных механизмов этой группы состоит в том, что необходимое для перестановки рабочего органа усилие создается за счет электромагнита, являющегося неотъемлемой частью исполнительного механизма.

### 7.1 Электродвигательные исполнительные механизмы

Состоят из двигателя, редуктора и тормоза (последнего иногда может и не быть). Сигнал управления поступает одновременно к двигателю и тормозу, механизм растормаживается, и двигатель приводит в движение выходной орган. При исчезновении сигнала двигатель выключается, а тормоз останавливает механизм. Простота схемы, малое число элементов, участвующих в формировании регулирующего воздействия, и высокие эксплуатационные свойства сделали исполнительные механизмы с управляемыми двигателями основой для создания исполнительных устройств современных промышленных систем автоматического регулирования.

Существуют, хотя и не получили широкого распространения, исполнительные механизмы с неуправляемыми двигателями, которые содержат управляемую электрическим сигналом механическую, электрическую либо гидравлическую муфту. Характерной их особенностью является то, что двигатель в них работает непрерывно все время работы системы регулирования, а сигнал управления от регулирующего прибора передается рабочему органу через управляемую муфту

Исполнительные механизмы с управляемыми двигателями, в свою очередь, можно разделить по способу построения системы управления на механизмы с контактным и бесконтактным управлением.

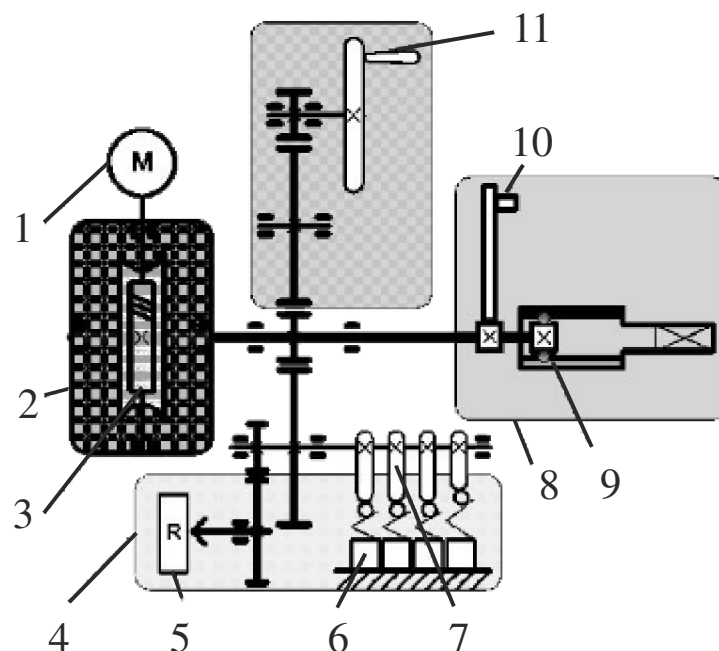


Рисунок 31 – Электродвигательные исполнительные механизмы (1 – электродвигатель, 2 – силовой редуктор с главной понижающей передачей, 3 – червячная пара (как пример силовой передачи), 4 - блок сигнализации положения выходного вала, 5 – реостатный датчик положения, 6 – концевые выключатели, нажатие на которые осуществляют, 7 – кулачки концевых выключателей, кинематически связанные с выходным валом механизма, 8 – узел преобразования вращения выходного вала, 9 – шариковинтовой парой для прямоходных механизмов, 10 – рычагом или коромыслом для поворотных механизмов, 11 – ручной привод со своей передачей и механизмами блокирования/деблокирования)



Включение, отключение и реверсирование электродвигателей исполнительных механизмов с контактным управлением производится с помощью различной релейной или контактной аппаратуры. Это определяет основную отличительную особенность исполнительных механизмов с контактным управлением: у таких механизмов скорость выходного органа не зависит от величины управляющего сигнала, подаваемого на вход исполнительного устройства, а направление перемещения определяется знаком (или фазой) этого сигнала. Поэтому исполнительные механизмы с контактным управлением относят обычно к исполнительным устройствам с постоянной скоростью перемещения рабочего органа.

Для получения средней переменной скорости перемещения выходного органа исполнительного механизма при контактном управлении широко используется импульсный режим работы его электродвигателя.

В большинстве исполнительных механизмов, предназначенных для работы в схемах с контактным управлением, используются реверсивные электродвигатели. Применение электродвигателей, вращающихся только в одну сторону, весьма ограничено, но все же имеет место.

Бесконтактные электрические исполнительные механизмы отличаются повышенной надежностью и позволяют относительно просто получать как постоянную, так и переменную скорость перемещения выходного органа. Для бесконтактного управления исполнительными механизмами используются электронные, магнитные или полупроводниковые усилители, а также их сочетание. При работе управляющих усилителей в релейном режиме скорость перемещения выходного органа исполнительных механизмов постоянна.

Как электрические исполнительные механизмы с контактным управлением, так и бесконтактные можно подразделять также по следующим признакам.

По назначению: с вращательным движением выходного вала – однооборотные; с вращательным движением выходного вала –

многооборотные; с поступательным движением выходного вала — прямоходные.

По характеру действия: позиционного действия; пропорционального действия.

По исполнению: в нормальном исполнении, в специальном исполнении (пылеводозащищенном, взрывозащищенном, тропическом, морском и т. п.).

Выходной вал однооборотных исполнительных механизмов может вращаться в пределах одного полного оборота. Такие механизмы характеризуются величиной крутящего момента на выходном валу и временем его полного оборота.

В отличие от однооборотных многооборотные механизмы, выходной вал которых может осуществлять перемещение в пределах нескольких, иногда значительного количества, оборотов, характеризуются также полным числом оборотов выходного вала.

## 7.2 Регулирующие органы

Регулирующий орган (РО) – элемент в цепи воздействий, оказывающий непосредственное влияние на управляемый объект. Это воздействие может осуществляться изменением количества энергии (вещества), проходящей через объект, либо путем изменения характеристик (режима) объекта.

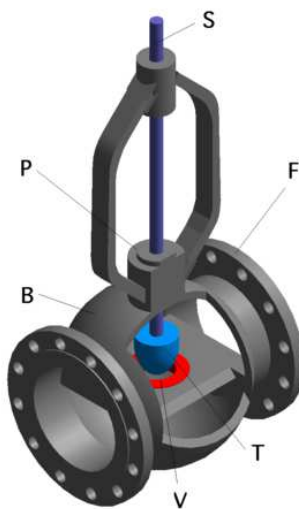


Рисунок 32 – Регулирующий клапан

Регулирующий орган осуществляет регулирующее воздействие на объект изменением расхода вещества или энергии, подводимой к нему. Для изменения расхода жидкостей, газов и паров применяют дроссельные регулирующие органы. Их действие основано на изменении проходного сечения трубопровода в месте установки регулирующего органа. Проходное сечение дроссельного регуливающего органа изменяют, открывая или закрывая его. Расход вещества через такой регулирующий орган зависит от степени его открытия и перепада давлений на нем. Поэтому следует иметь в виду, что даже при одной и той же степени открытия дроссельного регуливающего органа расход через него может изменяться при изменении перепада давлений.

К дроссельным регулирующим органам относятся односедельные, двухседельные и диафрагмовые клапаны, а также заслонки. В односедельных и двухседельных регулирующих клапанах (см. Рисунок 33) изменение проходного сечения производится перемещением одного или двух плунжеров 2 относительно седла 3. Преимущество односедельного клапана перед двухседельным в том, что он обеспечивает при закрытии герметичное перекрытие трубопровода.

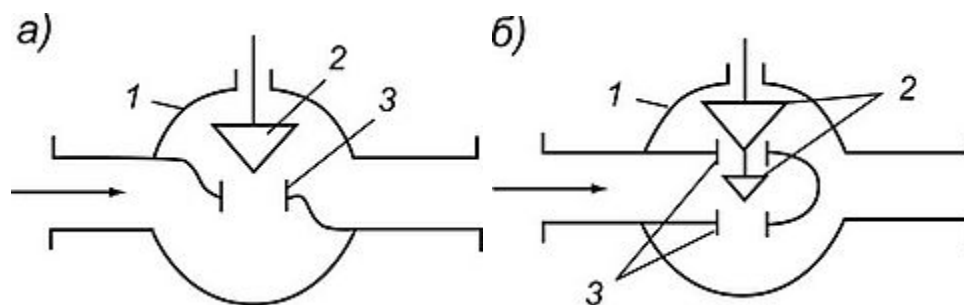


Рисунок 33 – Регулирующие клапаны:

а – односедельный; б – двухседельный; 1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – седло

Для двухседельного регулирующего клапана невозможно обеспечить герметичную посадку в седла одновременно обоих плунжеров. С другой стороны, перепад давлений на клапане создает на плунжере односедельного клапана выталкивающее усилие, достигающее максимальной величины при полностью закрытом клапане. У двухседельного же клапана такие силы

приложены к обоим плунжерам, но направлены в разные стороны. Поэтому результирующее усилие на штоке такого клапана даже при полном закрытии гораздо меньше, чем у односедельного, и для перемещения двухседельного клапана требуется исполнительный механизм меньшей мощности, чем для односедельного. В диафрагмовых клапанах (см. Рисунок 34) проходное сечение изменяется в результате перемещения центра диафрагмы 2 относительно перегородки 3 в корпусе клапана.

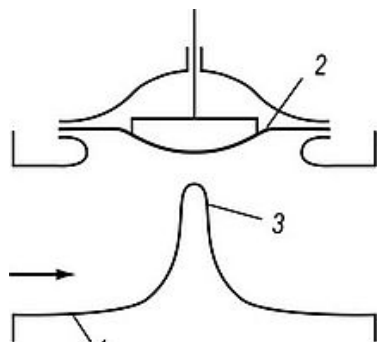


Рисунок 34 – Диафрагмовый клапан

В трубопроводах большого сечения для управления потоками газа и пара обычно применяют поворотную заслонку (см. Рисунок 35). Основной элемент заслонки – круглый диск 1, укрепленный на оси 2 и помещенный в корпусе 3. Поворотом диска изменяется площадь проходного сечения между заслонкой и корпусом. Если диск находится в плоскости, перпендикулярной оси корпуса, то проходное сечение равно нулю. По мере поворота диска площадь проходного сечения увеличивается и достигает максимума, когда положение диска совпадает с осью корпуса.

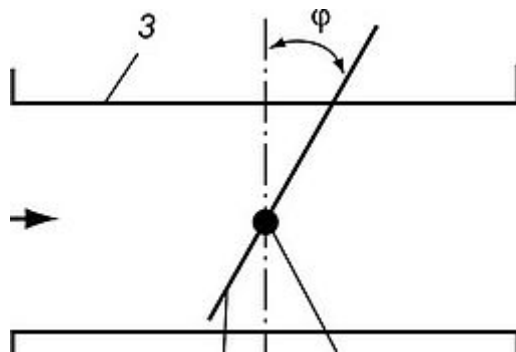


Рисунок 35 – Поворотная заслонка

Основной характеристикой дроссельного регулирующего органа как элемента АСР является его статическая характеристика – зависимость расхода вещества через регулирующий орган от степени его открытия.

Для регулирующего органа предпочтительна линейная статическая характеристика, так как только в этом случае не искажается закон регулирования, формируемый регулятором в АСР. Однако, как указывалось выше, расход через дроссельный регулирующий орган зависит еще и от перепада давлений, который в технологическом процессе может изменяться с изменением расхода. Поэтому статическая характеристика регулирующего органа, линейная при постоянном перепаде давлений, может оказаться нелинейной в реальных условиях.

Чтобы избежать этого, применяют клапаны не только с линейными, но и с нелинейными характеристиками при постоянном перепаде давлений. Таким образом, удастся скомпенсировать нелинейность статической характеристики регулирующего органа, обусловленную переменным перепадом давлений.

Для дроссельных регулирующих органов необходимая статическая характеристика наиболее просто может быть получена у регулирующего клапана. В настоящее время промышленность выпускает регулирующие клапаны с линейной, логарифмической и параболической характеристиками, причем клапаны с различными характеристиками отличаются лишь формой плунжера.

Кроме статической характеристики, регулирующий клапан характеризует его пропускная способность – расход воды через полностью открытый регулирующий орган при перепаде давлений на нем  $1 \cdot 10^5$  Па. Этот расход (в м<sup>3</sup>/ч) указывается в паспортных данных регулирующего органа вместе с другими его показателями: условным давлением, допустимой температурой и т.п.

Регулирующий орган выбирают по пропускной способности, виду требуемой статической характеристики, а также исходя из условий его

эксплуатации: свойств протекающей среды, температуры и давления в трубопроводе.

Для трубопроводов небольшого диаметра (до 25 мм) применяют односедельные регулирующие клапаны, большого диаметра – двухседельные. В тех случаях, когда условия эксплуатации не позволяют применять регулирующие клапаны, используют диафрагмовые клапаны сильноагрессивных жидкостей. Диафрагмы в таких клапанах изготавливают из кислотостойкой резины, фторопласта и других материалов, стойких по отношению к протекающей среде, а внутреннюю поверхность корпуса покрывают фторопластом или эмалью.

Исполнительный механизм преобразует выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. По виду используемой энергии исполнительные механизмы делятся на пневматические, гидравлические и электрические. В инженерных системах наибольшее применение получили пневматические и электрические исполнительные механизмы.

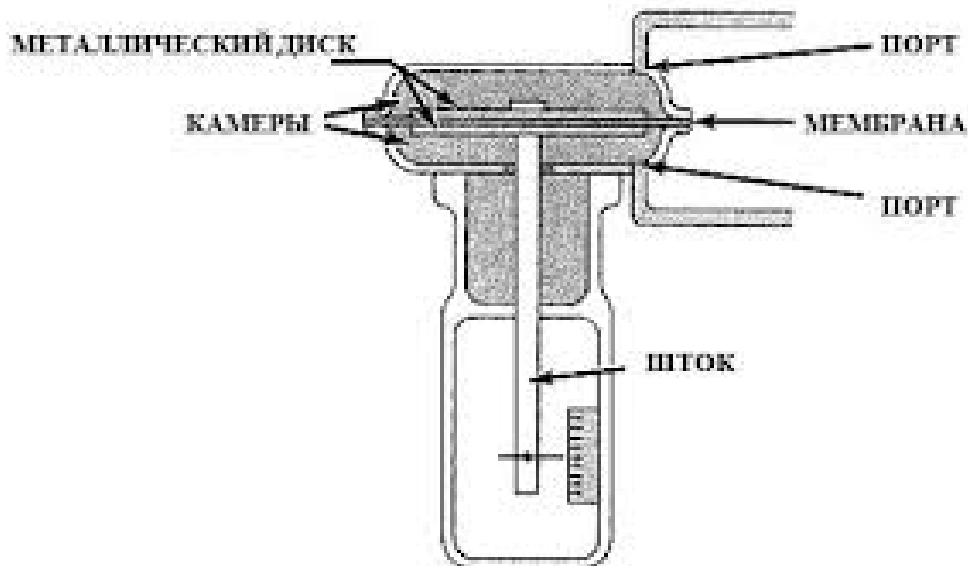
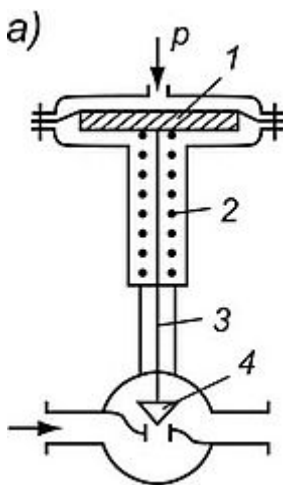


Рисунок 36 – Мембранный исполнительный механизм

Пневматические исполнительные механизмы (см. Рисунок 36) преобразуют входное давление  $P$  в прогиб мембраны 1 и перемещение/связанного с ней штока 6. Мембрана (обычно резинотканевая)

герметично заделана по краю между верхней 3 и нижней 4 крышками. Центральная часть мембраны опирается на жесткий центр 2. Благодаря противодействию пружины 5 статическая характеристика исполнительного механизма, т. е. зависимость перемещения/от давления  $P$  линейна.

Обычно пневматические исполнительные механизмы применяют для управления регулирующими клапанами и их выпускают как одно устройство – пневматический регулирующий клапан. Имеются два вида пневматических регулирующих клапанов: «нормально открытые» (НО) и «нормально закрытые» (НЗ). У первых (см. Рисунок 37) при отсутствии давления воздуха над мембраной 1 шток 3 под действием пружины 2 переходит в крайнее верхнее положение и плунжер 4 при этом полностью открывает клапан. С повышением давления воздуха проходное сечение такого клапана уменьшается. У вторых (см. Рисунок 37 б) при отсутствии давления воздуха проходное сечение полностью перекрыто, и клапан открывается лишь при появлении давления над мембраной.



б)

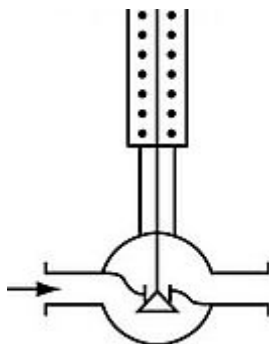


Рисунок 37 – Пневматический регулирующий клапан

Электрические исполнительные механизмы должны обеспечивать перемещение регулирующего органа по командам, поступающим от электрического регулятора при автоматическом управлении или от оператора при ручном дистанционном управлении. При поступлении команды исполнительный механизм перемещается с постоянной скоростью. Однако благодаря импульсному режиму работы средняя скорость выходного вала исполнительного механизма оказывается переменной. Различные типы исполнительных механизмов отличаются величиной крутящего момента на выходном валу и скоростью его поворота при включенном электродвигателе.

При разработке схемы управления исполнительного механизма (см. Рисунок 38) необходимо предусматривать 3 режима работы: дистанционный (Д), выключено (0) и автоматический (А).

Выбор режима производится с помощью различного вида коммутационных устройств, например, универсального переключателя (УП), имеющего соответствующие 3 положения рукоятки переключения. Для чтения подобных схем необходимо усвоить, что контакты УП могут замыкаться только горизонтальными группами 1 - 2; 3 - 4 и 5 - 6, какая группа замкнута и в каком режиме показывает точка, расположенная на вертикальной оси. Например, в дистанционном режиме (Д) замыкаются группы контактов 1 - 2 и 5 - 6.

На схеме управления также показаны концевые выключатели (Кв1 и Кв2), обесточивающие питание двигателя в крайних положениях выходного вала,



пусковые кнопки, работающие в дистанционном режиме, при этом следует учесть, что реверсирование вала двигателя осуществляется подачей напряжения на одну (кнопка П1) или другую (П2) обкладку фазосдвигающего конденсатора (С). Схема включает и контактные группы (Р1 и Р2), расположенные в регулирующем устройстве и управляющие исполнительным механизмом в автоматическом режиме (А).

Для управления трехфазным исполнительным механизмом необходимо использование реверсивного магнитного пускателя.

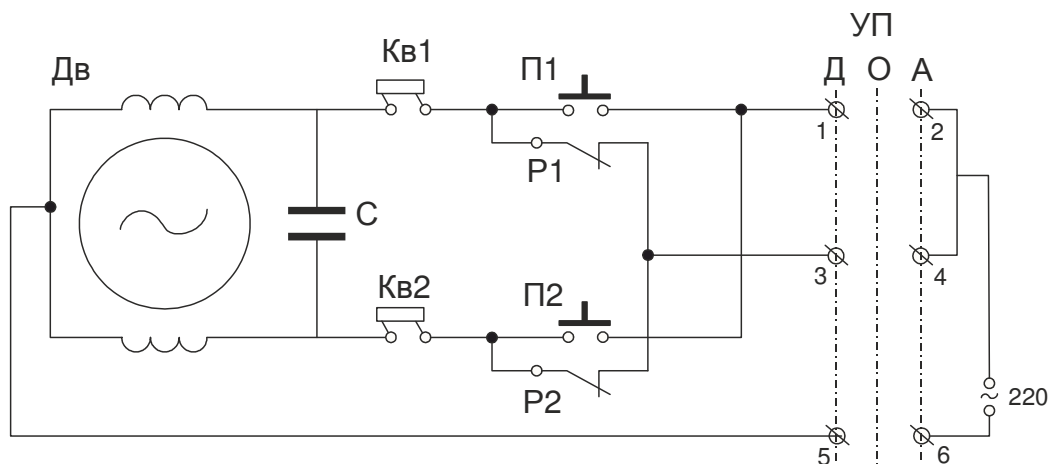


Рисунок 38 – Электрический исполнительный механизм

Тормозное устройство в исполнительных механизмах необходимо для уменьшения выбега выходного вала после прекращения действия управляющих импульсов. Обычно тормозное устройство снабжается электромагнитным приводом, который работает следующим образом: при появлении силового напряжения на электродвигателе появляется ток и в обмотке электромагнита. Якорь втягивается и отводит тормозную колодку от вала электродвигателя. При исчезновении силового напряжения электромагнит обесточивается, и вал электродвигателя тормозится колодкой, которая прижимается к нему пружиной.

## Список литературы

1. 3GPP LTE Encyclopedia (точка доступа url: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>)
2. IEEE 802.15.4 web site (точка доступа url: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>)
3. Zigbee Alliance homepage (точка доступа url: <http://www.zigbee.org/>)
4. Альбитц, П., DNS и BIND. - Пер. с англ. - СПб. Символ-Плюс, 2002 - 696 с.
5. Б. Кришнамурти, Web-протоколы. Теория и практика. — М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2002 г. - 592 с.
6. В.Вишневский, Энциклопедия WiMax. Путь 4G. /В. Вишневский, С.Портной, И.Шахнович — М.: Техносфера, 2009 г. — 472 с.
7. Вишневский и др. Широкополосные беспроводные сети передачи данных. — М.: Техносфера, 2005. — 592 с.
8. Курс сетевой академии Cisco Introduction to the Internet of Everything - Russian - 1.1.
9. Оптоволоконные кабели, виды и характеристики. (точка доступа url: <http://rostech.info/optovolokonnyie-kabeli-vidy-i-harakteristiki>)
10. Сети ЭВМ и телекоммуникации. Методические указания к лабораторным работам. /Сост. Д.Н. Лясин, С.Г. Саньков; Волгоград.гос.техн.ун-т.- Волгоград, 2003. – 54 с.
11. TCP/IP. Для профессионалов. 3-е изд. / Т. Паркер, К. Сиян. — СПб.: Питер, 2004.— 859 с.

Электронное учебное издание

Елена Юрьевна **Силаева**  
Елена Леонидовна **Еремина**

**Введение в направление**

*Учебное пособие для вузов*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2019 г. Поз. № 29.

Подписано в печать 08.05.2019 г. Формат 60×84 1/16.

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,19.

Волгоградский государственный технический университет  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.