

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков, С. И. Немирович**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию  
в области автоматизации технологических процессов, производств  
и управления в качестве учебного пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация  
технологических процессов и производств», профилизация  
«Автоматизация и роботизация в АПК»*

Минск  
БГАТУ  
2024

УДК 621.391:004(07)  
ББК 32.971.35я7  
Г46

Рецензенты:

кафедра «Теплоэнергетика и эффективное использование ТЭР»  
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ»  
(кандидат технических наук, заведующий кафедрой *А. Л. Тимощук*);  
кандидат физико-математических наук, заведующий отделом  
научно-организационного и конструкторского сопровождения  
Института физики НАН Республики Беларусь *И. Ф. Солонович*

**Гируцкий, И. И.**

Г46      Компьютерные сети промышленной автоматизации : учебное  
пособие / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков, С. И. Немирович. –  
Минск : БГАТУ, 2024. – 252 с.  
ISBN 978-985-25-0276-4.

Содержит базовые сведения по физическим основам электросвязи, этапы развития, типы и протоколы промышленных сетей автоматизации, их отличия от офисных компьютерных сетей, примеры построения распределенных систем управления технологическими процессами в сельском хозяйстве.

Предназначена для студентов специальности 6–05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств», профилизация «Автоматизация и роботизация в АПК».

УДК 621.391:004(07)  
ББК 32.971.35я7

ISBN 978-985-25-0276-4

© БГАТУ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ .....	8
1.1. Физические основы электросвязи. Информация и коммуникации.....	24
1.2. Типы передачи данных. Последовательная и параллельная передача данных .....	43
1.3. Среда передачи данных. Стандартные интерфейсы и протоколы.....	71
1.4. Эталонная модель взаимодействия открытых систем .....	91
2. СОВРЕМЕННЫЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	107
2.1. Этапы развития сетей промышленной автоматизации. Топология сетей.....	107
2.2. Распределенные системы управления. Сетевые архитектуры и протоколы.....	115
2.3. Удаленный контроль и управление с использованием GSM и интернет-технологий. Протокол работы Ethernet.....	143
2.4. Защита информации .....	173
3. ПРИМЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК. КОММУНИКАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ .....	185
3.1. Интегрированная система управления доильным залом молочно-товарного комплекса. ....	185
3.1.1 Анализ современных технологий управления молочно-товарной фермой.....	185
3.1.2 Анализ особенностей автоматических систем доения коров .....	191
3.1.3 Компьютерные системы управления стадом .....	196
3.2. Интегрированная система управления цехом откорма свиноводческого комплекса. ....	202
3.2.1 Общесистемные программно-технические средства. Операционные системы реального времени. SCADA-системы.....	204

3.2.2 Технико-экономические предпосылки информатизации производства свинины.....	223
3.2.3 Построение интегрированных систем в свиноводстве.....	225
3.2.4 Разработка структуры и алгоритма двухуровневой модели системы управления производственным участком промышленного свиного комплекса.....	229
3.2.5 Эффективность точного управления биотехническими процессами сельскохозяйственного производства .....	234
3.2.6 Энергосберегающий потенциал роботизации производства на примере раздачи жидких кормов.....	239
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	249



## ВВЕДЕНИЕ

Современное сельскохозяйственное производство относится к сложным биотехническим объектам управления. Повышение конкурентоспособности крупнотоварных сельскохозяйственных предприятий, таких как свиноводческие, молочно-товарные и другие комплексы требуют интеграции систем управления и по горизонтали и по вертикали. Компьютерные сети промышленной автоматизации являются инженерной дисциплиной, предназначенной для решения задач сбора и передачи информации в распределенных информационно-управляющих системах, автоматизированных системах управления технологическими процессами производственного участка, цеха и предприятия, бортовых автоматизированных системах управления мобильных агрегатов (автомобилей). Сбор данных является процессом, в ходе которого физические явления реального мира преобразуются в электрические сигналы, которые измеряются и преобразуются в цифровой формат, подходящий для обработки, анализа, хранения и передачи. Данные могут передаваться как по проводным каналам связи, так и по беспроводным – через радиоволны, инфракрасные лучи и другие способы. Процесс перемещения информации в пространстве играет фундаментальную роль во всех организованных системах. Например, внутри живых организмов перенос информации происходит с помощью химических и электрических сигналов. Внешние коммуникации живого организма – информация, получаемая/передаваемая органами чувств (зрение, слух, обоняние, голос) помогают жить в окружающем мире. В современном обществе существует развитая коммуникационная инфраструктура связи, включающая мобильную и стационарную телефонные сети, телевидение, радио и Интернет. Получившие статус промышленного стандарта интерфейсы и протоколы информационного взаимодействия между средствами автоматизации и вычислительной техники способствовали унификации подходов к модульному построению автоматизированных систем управления. Его преимущества заключаются в гибкости конфигурирования и развития системы управления, возможности поэтапной комплексной автоматизации производства, относительно независимой модернизации и поддержания работоспособности отдельных

производственных участков. Инженер по промышленной автоматизации сталкивается с более разнообразными задачами и устройствами, чем специалисты, работающие с офисными сетями и распределенными вычислительными системами. Поэтому для промышленных приложений очень важно понимать фундаментальные физические принципы связи.

Пособие предназначено для подготовки инженеров в области автоматизации производства. То есть нас интересует построение компьютерных сетей применительно к задачам синтеза автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), имеющих свои особенности и сложности. Часто промышленные компьютерные сети называют «Полевая шина». Название «Полевая шина» происходит от дословного перевода английского термина *fieldbus*. В настоящее время в профессиональной технической литературе применяется термин «Промышленная сеть», который является более адекватным переводом. Промышленная сеть – это среда передачи данных, которая должна отвечать множеству разнообразных, а зачастую противоречивых требований. Промышленная сеть – это набор стандартных протоколов обмена данными, позволяющих связать воедино оборудование различных производителей, а также обеспечить взаимодействие нижнего и верхнего уровней АСУ. Промышленная сеть – это образ мысли инженера, определяющий конфигурацию и принципы построения системы.

Корнем термина *fieldbus* (промышленная сеть) является слово *field* – область, сфера, место приложения. Промышленные сети применяются на уровне устройств, обслуживающих реальный процесс производства и переработки материалов. Выход в системы представления (визуализации) данных, коммерческие и административные системы организуется, как правило, через стандартные офисные сети типа Ethernet и через протокол TCP/IP. Под ним понимается сеть передачи данных, связывающая различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры. Сети промышленной автоматизации позволяют объединить достоинства распределенных (автономность) и централизованных (согласованность) структур АСУТП.

Специалист в области автоматизации технологических процессов и производств должен обладать системным видением объектов автома-

тизированного управления, информационно-коммуникационных технологий и их программно-технической базы. Инженеру, знающему принципы построения и работы компьютерных сетей, в том числе промышленных сетей автоматизации, проще изучить их практическое применение в распределенных и централизованных, глобальных и локальных системах управления биологическими и техническими объектами сельскохозяйственного и промышленного производства, проектировать на основе существующих решений системы и средства автоматизации технологических процессов и производств различной сложности. Познания в этой области дает дисциплина «Компьютерные сети промышленной автоматизации».

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Коммуникации – обмен информацией – основа функционирования любой организованной системы. Управление производственными процессами – не исключение. При этом реализация коммуникационных технологий осуществляется, в первую очередь, на основе электрических сигналов. Она не претендует на исчерпывающее изложение предмета. Круг тем и количество стандартов столь велико, а оборудование столь разнородно, что для более или менее подробного освещения потребовались бы сотни и сотни страниц. Поэтому описываются основные понятия, а затем рассматриваются наиболее распространенные технологии и решения, представляющие интерес для систем управления производственными процессами применительно к задачам сельского хозяйства.

Коммуникации в приложениях промышленного управления могут опираться как на простую технологию и протоколы – системы со скоростью передачи данных 50 бит в секунду все еще находятся в эксплуатации, – так и на очень сложное современное оборудование, способное работать при скоростях свыше 100 Мбит/с, что превосходит простейшие системы в 2 миллиона (!) раз. Поэтому весьма вероятно, что инженер по промышленной автоматике может столкнуться с более разнообразными задачами и устройствами, чем его коллеги, работающие в области «чистой» связи, например, с офисными сетями и распределенными вычислительными системами. Следовательно, для промышленных приложений очень важно понимать фундаментальные физические принципы связи.

Информация – понятие, о котором мы имеем более или менее интуитивное представление. Эту фундаментальную величину нельзя выразить через другие основные величины аналогично тому, как, например, вводится понятие скорости в виде отношения пути ко времени. Информация является внутренним свойством – любая система содержит информацию о себе самой, и ее можно передавать при малых затратах энергии: чертежи дома содержат достаточно много структурной информации о самом доме, и в отличие от дома их можно передать куда угодно с очень небольшими усилиями. Замечательным и весьма важным свойством информации является то, что ее можно копировать без ухудшения качества.

Математически информация определяется как мера упорядоченности множества, состоящего из различных объектов. Абстрактно состояние объекта можно обозначить некоторым символом. Например, цифры 0–9 представляют десять различных объектов. Если объект может принимать любое из определенного числа состояний, выявление его текущего состояния эквивалентно получению некоторой информации о нем. Чем больше состояний может принимать объект, тем больше информации можно получить на основе его текущего состояния.

Мера информации  $I$ , ассоциируемая с системой, которая может принимать  $N$  возможных состояний, есть логарифм  $N$ . Если логарифм вычисляется по основанию 2, то результирующая мера в битах (*bit*) есть

$$I = \log_2 N.$$

Если объект или переменная может принимать только одно из двух состояний, его информационное содержание равно

$$I = \log_2(2) = 1 \text{ бит.}$$

Информационное содержание множества десятичных цифр  $\{0, \dots, 9\}$  равно  $I = \log_2(10) = 3,32$  бит.

Логарифмы можно также вычислять и по другому основанию. Для логарифмов по основанию  $e$  единицей информации является нит (*nit*), а для логарифмов по основанию 10 – дит (*dit*) или *Hartley*. Основания логарифмов, отличающиеся от 2, редко используются на практике и в теории информации. Уравнение для информации справедливо в предположении, что различные состояния являются равновероятными.

Бит представляет собой удобную единицу для схем цифровой логики, в которых его легко представить двумя различными уровнями энергии в электрической цепи. Для передачи или хранения информации, относящейся к переменной, требуется некоторое число элементарных цепей или ключей, равное или превосходящее соответствующую меру информации. В случае цифр  $\{0, \dots, 9\}$  с информационным содержанием 3,32 бита требуются, по крайней мере, четыре ключа, которые позволяют

представить  $2^4 = 16$  различных состояний; три ключа обеспечивают только  $2^3 = 8$  состояний.

В соответствии с данным выше определением аналоговая переменная, т. е. переменная, которая в заданном диапазоне может иметь бесконечное число значений, имеет бесконечное информационное содержание. В цифровой технике используются только дискретные величины; допускается соответствующая потеря информационного содержания при дискретизации и цифровом преобразовании аналогового сигнала. Например, при аналого-цифровом преобразовании (АЦП) напряжения, изменяющегося в пределах от 0 до 10 В, с дискретностью в 0.1 В означает, что 7 бит достаточно для описания 100 результирующих состояний ( $2^7=128$ ).

Применение логарифма для измерения информации удобно потому, что:

- он представляет собой возрастающую функцию числа возможных состояний;
- если возможно лишь одно состояние, значение логарифма равно нулю, т. е. информационное содержание константы – ноль;
- логарифмирование делает меру информации аддитивной; для сравнения: число комбинаций состояний независимых переменных есть произведение числа состояний, которое может принимать каждая переменная.

Иначе говоря, если число возможных состояний для каждого символа равно  $v$ , то, соответственно, число комбинаций для  $n$  символов равно  $v^n$ . Если информационное содержание каждого символа равно  $I$ , то  $n$  символов должны иметь общее информационное содержание  $nI$ . Функция  $\log v^n$  удовлетворяет этому условию. Важным следствием логарифмического характера меры информации является то, что она всегда положительна.

Сегодня речь идет об индустрии 4.0, или четвертой промышленной революции. А все ли в курсе, что из себя представляли три предыдущие и в чем заключается четвертая, которая происходит прямо сейчас?

Промышленная революция – перестройка общества под влиянием инноваций в технологиях и технике. Сопровождается скачком производительности. Границы промышленных революций размыты во времени (рис. 1.1), прогресс распространяется как цепная реакция – из одной страны в другую. Пионером первой из революций считается Великобритания.

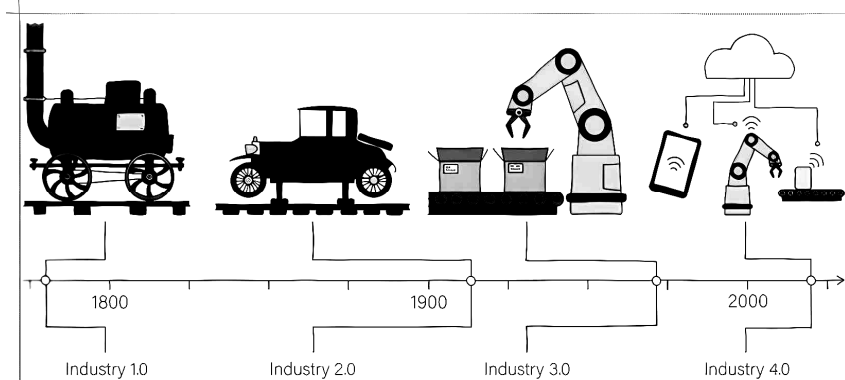


Рис. 1.1. История промышленных революций по датам

**Первая промышленная революция**, или великая индустриальная революция – происходила в XVIII–XIX вв. Ключевыми предпосылками называют аграрный переворот, который привел к высвобождению дешевой рабочей силы, и механизацию ручного труда, которая в 10–20 раз увеличила производительность. Первая промышленная революция была связана с массовым переходом от использования мускульной силы к энергии парового двигателя. Ключевые технологии – паровой двигатель, фабрика. Появилась возможность массового производства, но его продукты стоили дорого.

Изобретение механизмов, заменяющих ручной труд, подготовило сознание людей к самой промышленной революции. Ко времени первой промышленной революции относятся открытия и изобретения в самых разных отраслях: ткацкие и прядильные станки в легкой промышленности, токарные и фрезерные станки в металлургии, сельскохозяйственные машины.

Характерными чертами первой промышленной революции стали строительство механизированных заводов и фабрик, установление капитализма и ускорение переселения людей из деревень в город.

Первая промышленная революция плавно перетекла во вторую.

**Вторая промышленная революция** началась в 1870 году и продолжалась до 1914 года – начала Первой мировой войны. Ее предпосылками стали нарастающие успехи в физике и химии и стремление внедрить научные достижения в производство.

Предпосылки второй промышленной революции:

Майкл Фарадей открыл в 1831 году электромагнитную индукцию. Его изобретение электромагнитных роторных устройств стало основой для внедрения электричества в технологии.

Генри Бессемер запатентовал в 1856 году метод превращения жидкого чугуна в сталь путем окисления содержащихся кремния, марганца и углерода кислородом – «бессемеровский процесс». Сталь получалась более прочной, повысилась скорость ее производства. «Бессемеровский процесс» внес огромный вклад в развитие металлургии, автомобилестроения и строительства железных дорог.

Электрификация и производство бессемеровской стали послужили пусковой площадкой для совершенствования технологий. Ключевыми инновациями стали использование конвейера в поточно-массовом производстве и выпуск Генри Фордом первого доступного и популярного автомобиля модели «Т» в 1908 году.

Генри Форд говорил, что массовое производство было бы невозможно без электричества. При сборке машины работали 32 тысячи станков, большинство из которых электрические.

Период второй промышленной революции характеризуется строительством железных дорог и других транспортных сетей, использованием телеграфа, стремительным ростом промышленности, вытеснением гужевого транспорта машинами. Возникли новые отрасли: электроэнергетика, нефтехимическая промышленность, автомобилестроение, производство стали.

Вторая революция, таким образом, ознаменовала начало дешевого массового производства. Ключевые технологии – конвейер. Продукты массового производства подешевели на порядок.

Третья промышленная революция началась в 60-е годы XX века и характеризовалась автоматизацией производства. В 1948 году компания General Electric разработала автоматический электромеханический манипулятор Хэнди Мэн. Он копировал движения оператора и давал обратную связь от предмета манипуляций. Дальнейшее совершенствование логических контроллеров, их программирование, создание промышленных роботов обусловили автоматизацию производства и бурный экономический рост после 1970 года. Станки с ЧПУ и роботы сделали современные фабрики практически безлюдными. Аутсорсинг ручного труда в развивающиеся страны сгладил эту тенденцию. Продукты массового



производства подешевели еще на порядок (стало дешевле выкинуть, чем чинить).

Период третьей промышленной революции характеризуется развитием связи, созданием сетей персональных компьютеров, появлением сотовых телефонов.

Четвертая промышленная революция происходит прямо сейчас. Ее предпосылкой стало распространение Интернета. «Всемирная паутина» изменила нашу жизнь, создала волнения в сфере СМИ и развлечений, но поначалу не привела к прорыву в промышленности. Четвертая промышленная революция заключается не в повышении производительности, а в продуктивности, гибкости и кастомизации. Появляется возможность производства мелкой серии или уникального продукта по цене, приближающейся к стоимости того же самого в крупной серии.

Около 30–40 лет назад были изобретены цифровые системы управления. Они предполагали подключение нескольких тысяч датчиков, так что это был первый шаг к Индустрии 4.0. Затем был сдвиг в начале 2000-х, связанный с разработкой качественного и открытого программного обеспечения. Создание пакетов приложений позволило человечеству начать более эффективно использовать данные, собранные от датчиков в системах управления. Это воспроизвело очередную волну существенных преимуществ для промышленной отрасли.

Автомобиль Tesla умнеет с каждым месяцем эксплуатации пользователем, получая обновления через Интернет и, обмениваясь информацией со смартфоном пользователя, изучая его привычки, адаптируется к маршрутам, рассчитывает время выезда в зависимости от планов в календаре и места следующей встречи, прогревает салон перед расчетным временем выхода из дома. Скоро многие окружающие нас предметы научатся взаимодействовать друг с другом, и кофемашинка сама будет готовить кофе после звонка будильника, в печке будет готовиться завтрак, а автомобиль сам подъедет от парковки к вашим дверям.

В «Индустрии 4.0» в одну сеть объединяются не только предметы, но и станки, сборочные линии и целые заводы. Уже сейчас на некоторых предприятиях на заготовках установлены RFID-метки, которые передают необходимую информацию сборочному роботу. Отслеживаются запасы сырья, и если раньше в бизнес-школах

преподавали промышленную технологию Just-in-Time как самую передовую, то в скором будущем потребность в этом подходе и соответствующих специалистах просто исчезнет. При этом все более привычной становится кастомизация, каждое изделие может быть сделано на крупной фабрике под индивидуального заказчика.

Термин «информация» происходит от латинского слова «informatio», что означает сведения, разъяснения, изложение. Несмотря на широкое распространение этого термина, понятие информации является одним из самых дискуссионных в науке. В настоящее время наука пытается найти общие свойства и закономерности, присущие многогранному понятию информация, но пока это понятие во многом остается интуитивным и получает различные смысловые наполнения в различных отраслях человеческой деятельности:

- в обиходе информацией называют любые данные или сведения, которые кого-либо интересуют. Например, сообщение о каких-либо событиях, о чьей-либо деятельности и т. п. «Информировать» в этом смысле означает «сообщить нечто, неизвестное раньше»;

- в технике под информацией понимают сообщения, передаваемые в форме знаков или сигналов;

- в кибернетике под информацией понимает ту часть знаний, которая используется для ориентирования, активного действия, управления, т. е. в целях сохранения, совершенствования, развития системы (Н. Винер).

Клод Шеннон, американский ученый, заложивший основы теории информации, – науки, изучающей процессы, связанные с передачей, приемом, преобразованием и хранением информации, рассматривает информацию как снятую неопределенность наших знаний о чем-то.

Современное научное представление об информации очень точно сформулировал Норберт Винер, «отец» кибернетики. А именно:

Информация – это обозначение содержания, полученного из внешнего мира в процессе нашего приспособления к нему и приспособления к нему наших чувств.

Люди обмениваются информацией в форме сообщений. Сообщение – это форма представления информации в виде речи,

текстов, жестов, взглядов, изображений, цифровых данных, графиков, таблиц и т. п.

Одно и то же информационное сообщение (статья в газете, объявление, письмо, телеграмма, справка, рассказ, чертеж, радиопередача и т. п.) может содержать разное количество информации для разных людей – в зависимости от их предшествующих знаний, от уровня понимания этого сообщения и интереса к нему.

Так, сообщение, составленное на японском языке, не несет никакой новой информации человеку, не знающему этого языка, но может быть высокоинформативным для человека, владеющего японским. Никакой новой информации не содержит и сообщение, изложенное на знакомом языке, если его содержание непонятно или уже известно.

Информация есть характеристика не сообщения, а соотношения между сообщением и его потребителем. Без наличия потребителя, хотя бы потенциального, говорить об информации бессмысленно.

В случаях, когда говорят об автоматизированной работе с информацией посредством каких-либо технических устройств, обычно в первую очередь интересуются не содержанием сообщения, а тем, сколько символов это сообщение содержит.

Применительно к компьютерной обработке данных под информацией понимают некоторую последовательность символических обозначений (букв, цифр, закодированных графических образов и звуков и т. п.), несущую смысловую нагрузку и представленную в понятном компьютеру виде. Каждый новый символ в такой последовательности символов увеличивает информационный объем сообщения.

### **В каком виде существует информация**

Информация может существовать в виде:

- текстов, рисунков, чертежей, фотографий;
- световых или звуковых сигналов;
- радиоволн;
- электрических и нервных импульсов;
- магнитных записей;
- жестов и мимики;
- запахов и вкусовых ощущений;

– хромосом, посредством которых передаются по наследству признаки и свойства организмов и т. д.

Предметы, процессы, явления материального или нематериального свойства, рассматриваемые с точки зрения их информационных свойств, называются информационными объектами.

Различают две формы представления информации - непрерывную (аналоговую) и прерывистую (цифровую, дискретную). Непрерывная форма характеризует процесс, который не имеет перерывов и может изменяться в любой момент времени и теоретически на любую величину (например, речь человека). Цифровой сигнал может изменяться лишь в определенные моменты времени и принимать лишь заранее обусловленные значения. Для преобразования аналогового сигнала в цифровой сигнал требуется провести дискретизацию во времени и квантование по уровню.

Дискретизация – это замена непрерывного сигнала последовательностью отдельных во времени отсчетов этого сигнала.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой используется специальный конвертор, называемый аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Сигнал на выходе АЦП представляет собой последовательность двоичных чисел, которая может быть записана на лазерный диск или обработана компьютером. Обратная конверсия осуществляется с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Качество аналого-цифрового преобразования характеризуется разрешением. Разрешение – это количество уровней квантования, используемых для замены непрерывного сигнала цифровым. Еще один показатель качества такого преобразования – частота дискретизации – количество преобразований, производимое в секунду. Этот показатель измеряют килогерцами.

### **Как передается информация**

Информация передается в форме сообщений от некоторого источника информации к ее приемнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое сообщение, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приемнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением (рис. 1.2).

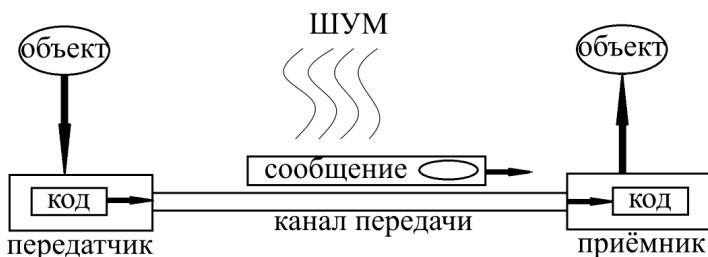


Рис. 1.2. Передача информации от источника к приемнику

Примеры:

Сообщение, содержащее информацию о прогнозе погоды, передается приемнику (телезрителю) от источника – специалиста-метеоролога посредством канала связи – телевизионной передающей аппаратуры и телевизора.

Живое существо своими органами чувств (глаз, ухо, кожа, язык и т. д.) воспринимает информацию из внешнего мира, перерабатывает ее в определенную последовательность нервных импульсов, передает импульсы по нервным волокнам, хранит в памяти в виде состояния нейронных структур мозга, воспроизводит в виде звуковых сигналов, движений и т. п., использует в процессе своей жизнедеятельности.

Передача информации по каналам связи часто сопровождается воздействием помех, вызывающих искажение и потерю информации.

### **Как измеряется количество информации**

Какое количество информации содержится, к примеру, в тексте романа «Война и мир», во фресках Рафаэля или в генетическом коде человека? Ответа на эти вопросы наука, по всей вероятности, даст не скоро. А возможно ли объективно измерить количество информации?

Американский инженер Р. Хартли в 1928 г. процесс получения информации рассматривал как выбор одного сообщения из конечного наперед заданного множества из  $N$  равновероятных сообщений, а количество информации  $I$ , содержащееся в выбранном сообщении, определял как двоичный логарифм  $N$ :

$$I = \log_2 N.$$

Допустим, нужно угадать одно число из набора чисел от единицы до ста. По формуле Хартли можно вычислить, какое количество информации для этого требуется:

$$I = \log_2 100 \approx 6,644.$$

Таким образом, сообщение о верно угаданном числе содержит количество информации, приблизительно равное 6,644 единицы информации.

Приведем другие примеры равновероятных сообщений:

- при бросании монеты: «выпала решка», «выпал орел»;
- на странице книги: «количество букв четное», «количество букв нечетное».

Определим теперь, являются ли равновероятными сообщения «первой выйдет из дверей здания женщина» и «первым выйдет из дверей здания мужчина». Однозначно ответить на этот вопрос нельзя. Все зависит от того, о каком именно здании идет речь. Если это, например, станция метро, то вероятность выйти из дверей первым одинакова для мужчины и женщины, а если это военная казарма, то для мужчины эта вероятность значительно выше, чем для женщины.

Для задач такого рода американский ученый Клод Шеннон предложил в 1948 г. Другую формулу определения количества информации, учитывающую возможную неодинаковую вероятность сообщений в наборе.

$$I = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2 + \dots + p_N \log_2 p_N),$$

где  $p_i$  – вероятность того, что именно  $i$ -е сообщение выделено в наборе из  $N$  сообщений.

Легко заметить, что если вероятности  $p_1, \dots, p_N$  равны, то каждая из них равна  $1/N$ , и формула Шеннона превращается в формулу Хартли.

Помимо двух рассмотренных подходов к определению количества информации, существуют и другие. Важно помнить, что любые теоретические результаты применимы лишь к определенному кругу случаев, очерченному первоначальными допущениями.

В качестве единицы информации Клод Шеннон предложил принять один бит (англ. bit – binary digit – двоичная цифра).

Бит в теории информации – количество информации, необходимое для различения двух равновероятных сообщений (типа «орел» – «решка», «чет» – «нечет» и т. п.).

В вычислительной технике битом называют наименьшую «порцию» памяти компьютера, необходимую для хранения одного из двух знаков «0» и «1», используемых для внутримашинного представления данных и команд.

Бит – слишком мелкая единица измерения. На практике чаще применяется более крупная единица – байт, равная восьми битам. Именно восемь битов требуется для того, чтобы закодировать любой из 256 символов алфавита клавиатуры компьютера ( $256 = 2^8$ ).

Широко используются также еще более крупные производные единицы информации:

1 Килобайт (Кбайт) = 1024 байт =  $2^{10}$  байт,

1 Мегабайт (Мбайт) = 1024 Кбайт =  $2^{20}$  байт,

1 Гигабайт (Гбайт) = 1024 Мбайт =  $2^{30}$  байт.

В последнее время в связи с увеличением объемов обрабатываемой информации входят в употребление такие производные единицы, как:

1 Терабайт (Тбайт) = 1024 Гбайт =  $2^{40}$  байт,

1 Петабайт (Пбайт) = 1024 Тбайт =  $2^{50}$  байт.

### **Понятие компьютерной коммуникации. Общая модель процесса коммуникации (модель Шеннона–Уивера)**

Под компьютерными коммуникациями понимают технические устройства и программное обеспечение, посредством которых осуществляются прием и передача информации.

Процесс передачи информации представим посредством модели в виде схемы, приведенной на рис. 1.3.

Рассмотрим основные элементы, входящие в состав данной модели, а также преобразования информации, которые в ней происходят.

1. Источник информации или сообщения (ИИ) – это материальный объект или субъект информации, способный накапливать, хранить, преобразовывать и выдавать информацию в виде сообщений или сигналов различной физической природы. Это может быть клавиатура компьютера, человек, аналоговый выход видеокамеры и т. п.

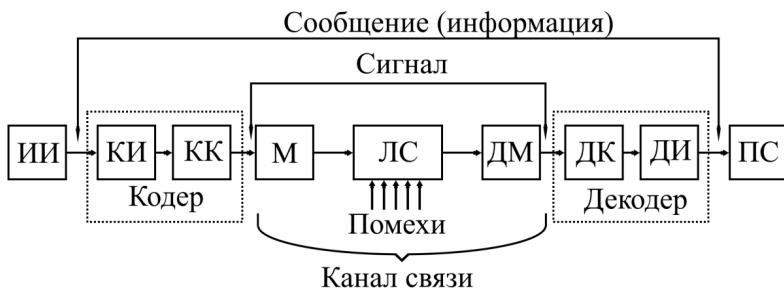


Рис. 1.3. Обобщенная модель системы передачи информации

Мы будем рассматривать два типа источников информации: если в конечном интервале времени источник информации будет создавать конечное множество сообщений, он является дискретным, а в противном случае – непрерывным.

Информация в виде исходного сообщения с выхода источника информации поступает на вход кодера, включающего кодер источника (КИ) и кодера канала (КК).

## 2. Кодер.

2.1. Кодер источника обеспечивает преобразование сообщения в первичный сигнал – множество элементарных символов.

Отметим, что код – это универсальный способ отображения информации при ее хранении, передаче и обработке в виде системы однозначных соответствий между элементами сообщений и сигналами, при помощи которых эти элементы можно зафиксировать. Кодирование всегда может быть сведено к однозначному преобразованию символов одного алфавита в символы другого. При этом код есть правило, закон, алгоритм, по которому осуществляется это преобразование.

Код представляет собой полный набор всех возможных комбинаций символов вторичного алфавита, построенных по данному закону. Комбинации символов, принадлежащие данному коду, называются кодовыми словами. В каждом конкретном случае могут быть использованы все либо часть кодовых слоев, принадлежащих данному коду. Тем более, что существуют «мощные коды», все комбинации которых практически невозможно отобразить. Поэтому под словом «код» подразумеваем, прежде всего, закон, по которому производится преобразование, в результате которого



получаем кодовые слова, полный набор которых принадлежит данному коду, а не какому-то другому, построенному по иному закону.

Символы вторичного алфавита независимо от основания кода являются лишь переносчиками сообщений. Сообщением при этом является буква первичного алфавита безотносительно конкретного физического либо смыслового содержания, которое она отражает.

Таким образом, цель кодера источника – представление информации в наиболее компактной форме. Это нужно для того, чтобы эффективно использовать ресурсы канала связи либо запоминающего устройства. Более подробно вопросы кодирования источников будут рассмотрены в теме № 3.

2.2. Кодер канала. При передаче информации по каналу связи с помехами в принятых данных могут возникать ошибки. Если такие ошибки имеют небольшую величину или возникают достаточно редко, информация может быть использована потребителем. При большом числе ошибок полученной информацией пользоваться нельзя.

Кодирование в канале, или помехоустойчивое кодирование, представляет собой способ обработки передаваемых данных, обеспечивающий уменьшение количества ошибок, возникающих в процессе передачи по каналу с помехами.

На выходе кодера канала в результате формируется последовательность кодовых символов, называемая кодовой последовательностью.

Нужно отметить, что как помехоустойчивое кодирование, так и сжатие данных не являются обязательными операциями при передаче информации. Эти процедуры (и соответствующие им блоки в структурной схеме) могут отсутствовать. Однако это может привести к очень существенным потерям в помехоустойчивости системы, значительному уменьшению скорости передачи и снижению качества передачи информации. Поэтому практически все современные системы (за исключением, быть может, самых простых) должны включать и обязательно включают и эффективное и помехоустойчивое кодирование данных.

3. Модулятор. В случае необходимости передачи сообщений символам вторичного алфавита ставятся в соответствие конкретные физические качественные признаки. Процесс воздействия на закодированное сообщение с целью превращения его в сигнал

называется модуляцией. Функции модулятора – согласование сообщения источника или кодовых последовательностей, вырабатываемых кодером, со свойствами линии связи и обеспечение возможности одновременной передачи большого числа сообщений по общему каналу связи.

Поэтому модулятор должен преобразовать сообщения источника или соответствующие им кодовые последовательности в сигналы (наложить сообщения на сигналы), свойства которых обеспечивали бы им возможность эффективной передачи по существующим каналам связи. При этом сигналы, принадлежащие множеству систем передачи информации, работающих, например, в общем радиоканале, должны быть такими, чтобы обеспечивалась независимая передача сообщений от всех источников ко всем получателям информации. Подробно различные методы модуляции изучаются в курсе «Теории электрической связи».

Можно сказать, что назначением кодера и модулятора является согласование источника информации с линией связи.

4. Линия связи – это среда, в которой распространяются сигналы, несущие информацию. Не следует путать канал связи и линию связи. Канал связи – совокупность технических средств, предназначенных для передачи информации от источника к получателю.

В зависимости от среды распространения существуют радиоканалы, проводные, волоконно-оптические, акустические и т. п. каналы. Существует множество моделей, описывающих каналы связи с большей или меньшей степенью детализации, однако в общем случае сигнал, проходя по каналу связи, подвергается ослаблению, приобретает некоторую временную задержку (или фазовый сдвиг) и зашумляется.

Для повышения пропускной способности линий связи по ним могут передаваться сообщения от нескольких источников одновременно. Такой прием называется уплотнением. В этом случае сообщения от каждого источника передаются по своему каналу связи, хотя линия связи у них общая.

5. Демодулятор. Принятое (воспроизведенное) сообщение из-за наличия помех в общем случае отличается от посланного. Принятое сообщение будем называть оценкой (имеется в виду оценкой сообщения).

Для воспроизведения оценки сообщения приемник системы в первую очередь должен по принятому колебанию и с учетом сведений об использованных при передаче виде сигнала и способе модуляции получить оценку кодовой последовательности, называемую принятой последовательностью. Эта процедура называется демодуляцией, детектированием или приемом сигнала. При этом демодуляция должна выполняться таким образом, чтобы принятая последовательность в минимальной степени отличалась от переданной кодовой последовательности. Вопросы оптимального приема сигналов в радиотехнических системах являются предметом изучения курса ТЭС.

## 6. Декодер.

6.1. Декодер канала. Принятые последовательности в общем случае могут отличаться от переданных кодовых слов, то есть содержать ошибки. Количество таких ошибок зависит от уровня помех в канале связи, скорости передачи, выбранного для передачи сигнала и способа модуляции, а также от способа приема (демодуляции). Задача декодера канала – обнаружить и, по возможности, исправить эти ошибки. Процедура обнаружения и исправления ошибок в принятой последовательности называется декодированием канала. Результатом декодирования является оценка информационной последовательности. Выбор помехоустойчивого кода, способа кодирования, а также метода декодирования должен производиться так, чтобы на выходе декодера канала осталось как можно меньше неисправленных ошибок.

Вопросам помехоустойчивого кодирования/декодирования в системах передачи (и хранения) информации в настоящее время уделяется исключительное внимание, поскольку этот прием позволяет существенно повысить качество ее передачи. Во многих случаях, когда требования к достоверности принимаемой информации очень велики (в компьютерных сетях передачи данных, в дистанционных системах управления и т. п.), передача без помехоустойчивого кодирования вообще невозможна.

6.2. Декодер источника. Поскольку информация источника в процессе передачи подвергалась кодированию с целью ее более компактного (или более удобного) представления (сжатие данных, экономное кодирование, кодирование источника), необходимо восстановить ее к исходному (или почти исходному виду) по принятой последовательности. Процедура восстановления называется декодированием

источника и может быть либо просто обратна операции кодирования (неразрушающее кодирование/декодирование), либо восстанавливать приближенное значение исходной информации. К операции восстановления будем относить также восстановление, если в этом есть необходимость, непрерывной функции по набору дискретных значений оценок.

Нужно сказать, что в последнее время экономное кодирование занимает все более заметное место в системах передачи информации, поскольку вместе с помехоустойчивым кодированием это оказалось самым эффективным способом увеличения скорости и качества ее передачи.

7. Получатель информации – материальный объект или субъект, воспринимающий информацию во всех формах ее проявления с целью дальнейшей ее обработки и использования.

Получателями информации могут быть как люди, так и технические средства, которые накапливают, хранят, преобразуют, передают или принимают информацию.

## **1.1. Физические основы электросвязи. Информация и коммуникации**

Процесс передачи информации на расстояние при помощи технических средств посредством электрических сигналов называют *электрической связью*. Лица, участвующих в этом процессе, принято называть абонентами.

Принято считать, что информация передается от человека (к человеку) в виде сообщений, а *сообщение* – это форма представления информации. Примеры сообщений: буквенный текст, цифровой текст, речь, звуковые сообщения и т. д. В любом сообщении существует информационный параметр, изменение которого изменяет смысл информации, содержащейся в сообщении.

В электрической связи для передачи информации человек в основном используют речевые, текстовые сообщения, а также сообщения в виде изображений.

В теории связи количественная оценка информации основывается на концепции выбора наиболее важного сообщения из всей совокупности возможных сообщений. Чем менее вероятен выбор данного сообщения, тем большее количество информации в нем

содержится. Численно количество информации ( $I_A$ ) определяется как логарифмическая вероятность появления сообщения ( $P_A$ ) из всей совокупности возможных сообщений:  $I_A = -\log_2 P_A$  или  $I_A = n \cdot \log_2 m$ , где  $n$  – количество элементов в сообщении;  $m$  – общее количество возможных символов.

В случае передачи информации с помощью технических средств связи в качестве носителя используется сигнал. *Сигнал* – это физический процесс, несущий информацию о состоянии (изменении) свойств какого-либо объекта наблюдения.

Сигналы, по физической природе носителя информации, бывают: электрические; электромагнитные; оптические; акустические и др.

По способу задания сигнала различают регулярные (детерминированные), заданные аналитической функцией; нерегулярные (случайные), принимающие произвольные значения в любой момент времени. Для описания таких сигналов используется аппарат теории вероятностей.

В зависимости от функции, описывающей параметры сигнала, выделяют аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы: непрерывные (аналоговые), описываемые непрерывной функцией; дискретные, описываемые функцией отсчетов, взятых в определенные моменты времени; квантованные по уровню; дискретные сигналы, квантованные по уровню (цифровые) (рис. 1.4).

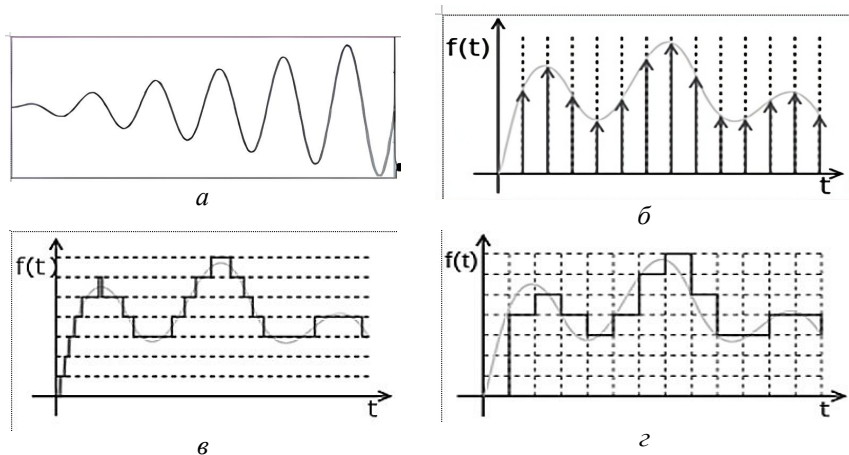


Рис. 1.4. Сигналы: а – аналоговый; б – дискретный; в – квантованный; г – цифровой

В технике электросвязи различают два вида сигналов – *управляющие* (модулирующие) и *несущие* (электромагнитные волны различной частоты, длинноволновые, средневолновые, ультракороткие волны, СВЧ, оптические).

В электронике и телекоммуникациях модуляция – это процесс изменения одного или нескольких свойств периодического сигнала, называемого сигналом несущей, отдельным сигналом, называемым сигналом модуляции, который обычно содержит информацию, подлежащую передаче. Например, сигналом модуляции может быть аудиосигнал, представляющий звук с микрофона, а видеосигнал, представляющий движущиеся изображения с видеокамеры, или цифровой сигнал, представляющий последовательность двоичных цифр, поток битов с компьютера (рис. 1.5).

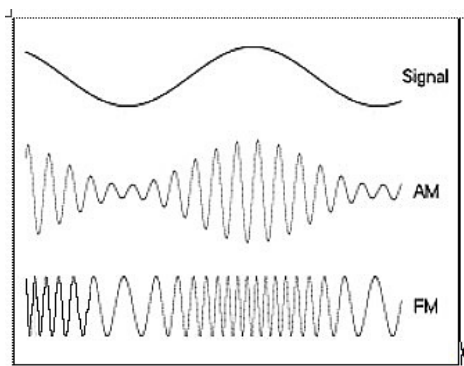


Рис. 1.5. Примеры амплитудной и частотной модуляции несущей волны управляющим сигналом

Эта несущая волна обычно имеет гораздо более высокую частоту, чем сигнал сообщения. Это связано с тем, что передавать сигналы с низкими частотами непрактично. Как правило, для приема радиоволны нужна радиоантенна длиной в одну четвертую длины волны. Для низкочастотных радиоволн длина волны измеряется в километрах, и строить такую большую антенну непрактично. В радиосвязи модулированная несущая передается через пространство в виде радиоволны на радиоприемник. Полоса пропускания или эффективно передаваемая полоса частот (прозрачности) – диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика

(АЧХ) акустического, радиотехнического, оптического или механического устройства достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы. В радиосвязи и устройствах передачи информации расширение полосы пропускания позволяет передать большее количество информации. Требования к полосе пропускания различных устройств определяются их назначением. Например, для телефонной связи достаточно полоса около 3 кГц (300–3400 Гц), для высококачественного воспроизведения музыкальных произведений – не менее 30–16000 Гц, а для телевизионного вещания – шириной до 8 МГц. Ширина полосы пропускания выражается в единицах частоты (например, в герцах). Ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи. Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. На рис. 1.6 показаны полосы пропускания линий связи различных типов, а также наиболее часто используемые в технике связи частотные диапазоны.

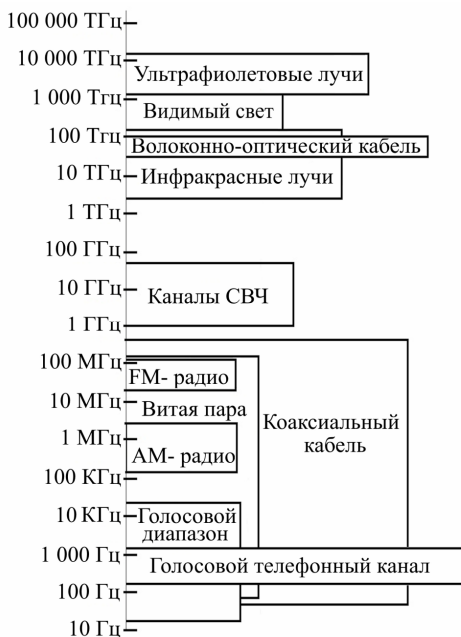
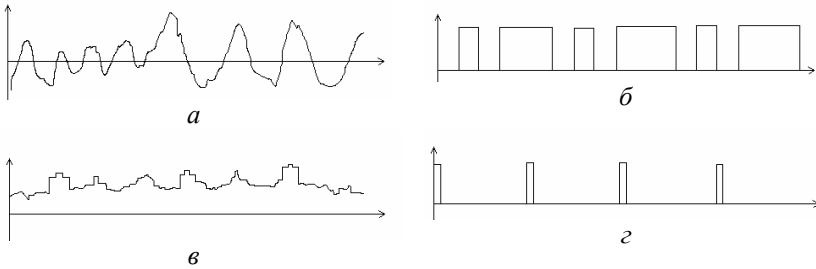


Рис. 1.6. Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны несущего сигнала

Другой целью модуляции является передача нескольких каналов информации через единую среду связи с использованием мультиплексирования с частотным разделением (FDM). Например, в кабельном телевидении (которое использует FDM) множество сигналов несущей, каждый из которых модулируется другим телевизионным каналом, передаются клиентам по одному кабелю. Поскольку каждая несущая занимает разную частоту, каналы не создают помех друг другу. На конечном конце несущий сигнал демодулируется для извлечения информации, несущей сигнал модуляции.

Демодуляция (Детектирование сигнала) – процесс, обратный модуляции колебаний, выделение информационного (модулирующего) сигнала из модулированного колебания высокой (несущей) частоты.

*Виды управляющих сигналов (рис. 1.7):*



*Рис. 1.7. Виды управляющих сигналов:*

*а – телефонные; б – телеграфные; в – телевизионные; г – импульсные*

а) *телефонный управляющий сигнал (ТЛФ)*. Получается в результате преобразования волн звукового давления частотой (20...20000) Гц в электрический сигнал при помощи микрофона;

б) *телеграфный управляющий сигнал (ТЛГ)*. Выражается последовательностью прямоугольных импульсов определенной длительности, разделенных паузами;

в) *телевизионный управляющий сигнал (ТВ)*. Представляет собой импульсы тока или напряжения, величина которых зависит от освещенности передаваемого элемента изображения. Преобразование света в электрический сигнал осуществляется при помощи электронно-лучевых приборов;

г) *импульсный управляющий сигнал*. Представляет собой последовательность импульсов, характеризующихся длительностью



I и паузами повторений под действием управляющего сигнала. Используют в телесигнализации и радиосвязи. Получают при помощи генераторов.

*Радиосигналы* формируются в модуляторе при воздействии управляющих сигналов звуковой частоты на радиочастотные (несущие) колебания.

Например, радиостанции ГПС работают в диапазоне УКВ (ультракоротких волн) на частотах:  $P_1 = 33-46$  МГц;  $P_2 = 140-174$  МГц.

Особенностью передачи телеграфных, факсимильных сообщений и информации в виде данных является то, что они (сообщения) фиксируются в месте приема на каком-либо физическом носителе (например, бумага в телеграфии и факсимильной связи, магнитный диск при передаче данных). В таком случае говорят о *документальной связи*.

В ряде случаев выдача сообщений получателю в пункте приема может осуществляться с помощью механических колебаний увеличенной амплитуды (*акустическая или громкоговорящая связь*). Громкоговорящая связь есть разновидность телефонной связи, но обладает рядом специфических особенностей.

Связь может быть *фиксированной* или *подвижной* (мобильной). Подвижной связью называют процесс передачи информации, при котором хотя бы один из абонентов может находиться при этом в движении. Фиксированную связь реализуют системы, оконечные элементы которых размещены стационарно, т. е. на определенном территориальном участке. Под фиксированной и подвижной связью подразумевают чаще всего проводную и радиосвязь соответственно, хотя это не всегда достоверно.

Кроме того, электрическая связь может быть *односторонней* или *двухсторонней*. При односторонней связи в пункте А производится только передача сообщений, а в пункте Б (или нескольких пунктах) только их прием (телевидение, радиовещание, пейджинговая связь и др.). При двухсторонней связи и передача, и прием осуществляются в любом из пунктов (телефонная связь и др.) и при этом (для передачи и для приема) используется один и тот же комплекс технических средств.

В свою очередь, двухсторонняя связь может быть *симплексной* (рис. 1.8) и *дуплексной* (рис. 1.9). При дуплексной связи одновременно работают и передатчик, и приемник. При симплексной связи

работа передатчика и приемника осуществляется поочередно, а переключение режимов работы производит абонент. Для этого симплексные средства связи дополнительно оборудуются специальными органами управления (кнопка, тангента и т. д.).

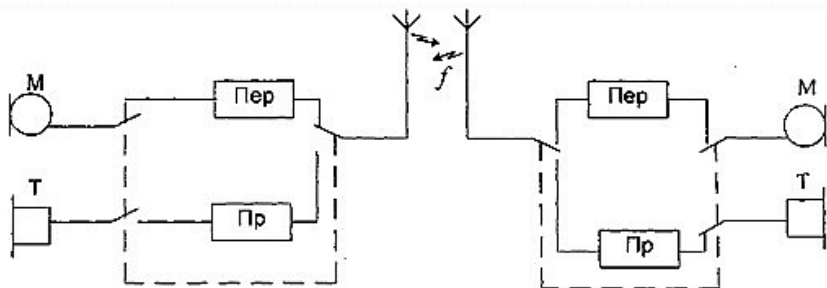


Рис. 1.8. Структурная схема симплексной связи

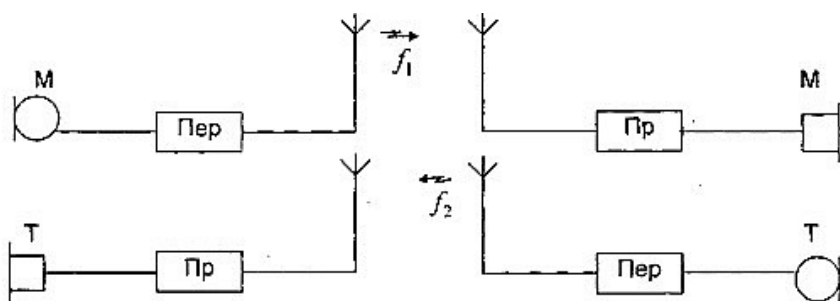


Рис. 1.9. Структурная схема дуплексной связи

По своей физической природе сигнал может быть механическим (например, деформация, изменение давления), тепловым (изменение температуры), электрическим (изменение силы тока, напряжения), электромагнитным (радиоволны, световые излучения), звуковым (акустические колебания) и др. В электросвязи носителем информации чаще всего служит электрический сигнал, т. к. большинство функциональных узлов существующей аппаратуры связи предназначено для обработки электрического сигнала. Но следует заметить, что при передаче информации электрический сигнал может формироваться из других видов сигналов, а также может

преобразовываться в иные виды сигналов на каком-либо этапе. Так, например, в системах пожарной сигнализации первичная информация может быть выражена тепловым сигналом, передача информации о возгорании осуществляется электрическим сигналом, а для обеспечения сигнализации в пункте приема информации формируются акустические сигналы и/или сигналы оптического диапазона.

Электрический сигнал, используемый в радиотехнике, может быть представлен двумя различными формами (рис. 1.10). *Дискретный сигнал* – форма электрического сигнала, значение напряжения которого изменяется скачкообразно. Дискретный сигнал задается конечным значением уровня в определенный момент времени и определяется длительностью в фиксированные моменты времени. *Аналоговый сигнал* непрерывен и относительно плавно меняется во времени и имеет различные значения уровня на заданном отрезке времени.

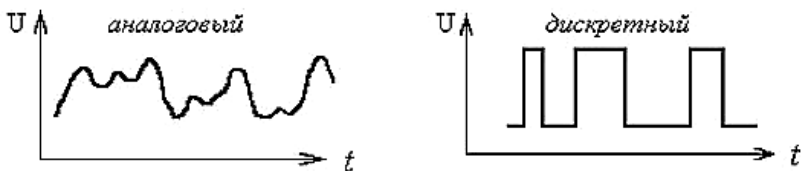


Рис. 1.10. Формы электрических сигналов

Сигнал, рассматриваемый как явление во времени, имеет начало и конец. Следовательно, одной из единиц измерения сигнала является его *длительность* ( $T_c$ ), которая непосредственно связана с количеством передаваемой информации.

Любой сигнал передается в определенной полосе частот, где сосредоточена его основная энергия. Эту полосу частот именуют *спектром сигнала* ( $F_c$ ).

Важной характеристикой сигнала является его средняя мощность, характеризующая силу сигнала. В качестве мощностной характеристики сигнала часто используют понятие *динамического диапазона* ( $D_c$ ) – логарифмического отношения максимальной мощности сигнала ( $P_{\max}$ ) к минимальной ( $P_{\min}$ ) [1]:

$$D_c = 10 \lg (P_{\max} / P_{\min}).$$

Совокупность названных параметров сигнала позволяет ввести понятие *объема сигнала* ( $V_c$ ):

$$V_c = T_c \cdot F_c \cdot D_c.$$

Данные характеристики наряду с некоторыми другими (у каждого вида связи наряду с общими имеются свои существенные характеристики сигналов) учитываются при проектировании и построении систем передачи информации.

Классификация видов электрической связи может производиться по нескольким признакам.

В зависимости от способа передачи информации между пунктами передачи и приема различают *проводную* и *беспроводную* связь. В проводной связи передающее и приемное устройства физически соединены проводниками (кабелями), по которым и передаются сигналы. В беспроводной связи непосредственного соединения передающей и приемной аппаратуры нет. Переносчиком сигнала между пунктами передачи и приема в этом случае являются электромагнитные волны. До недавнего времени в системах электрической беспроводной связи использовались лишь радиоволны, поэтому этот вид связи часто именуют радиосвязью.

Некоторые современные технологии в качестве носителя информации используют световой луч. Такой вид связи, в котором осуществляется передача светового луча, несущего информацию, получил название *оптической связи*, осуществляемой посредством электромагнитных волн оптического диапазона ( $10^{13}$ – $10^{16}$  Гц), передаваемых с помощью как проводных, так и беспроводных систем оптической связи.

Следует отметить, что отличительной особенностью видов связи данной категории является то, что системы проводной и беспроводной электрической связи очень часто и относительно просто сочетаются (комбинируются) между собой. Так, в современных условиях для создания целостной среды передачи информации системы радиосвязи интегрируются с системами проводной связи, например, сеть сотовой связи (радиосвязь) сопряжена с телефонной сетью, которая является проводной системой.

Исторически сложилось, что использование аналоговых сигналов до недавнего времени значительно преобладало при реализации

процессов преобразования и обработки информации. Большинство радиотехнических устройств электрической связи (телефония, радиосвязь, телевидение и т. д.) работало именно с этой формой сигнала. С развитием микроэлектроники, основанной на полупроводниковой технологии, дискретный сигнал стал использоваться сначала для реализации новых технологий связи, а затем и в классических аналоговых системах связи (телефония, радиосвязь и др.). Системы, использующие при передаче информации обработку сигнала в дискретной форме, именуют цифровыми, т. к. сигнал в этом случае принимает дискретные значения, которые можно выразить каким-либо числовым рядом, например: «0» – минимальное значение, а «1» – максимальное значение.

В 1968 году компания Modicon разработала концепцию программируемого логического контроллера – устройства, отвечающего широкому кругу потребностей, возникающих при управлении технологическими процессами, и обладающего малыми размерами. Программируемый логический контроллер (ПЛК или просто «контроллер») – это устройство, аналогичное компьютеру, используемое для того, чтобы автоматизировать технологический процесс, например, управление оборудованием на сборочной линии завода. Там, где старые автоматические системы использовали сотни и тысячи исполнительных реле и кулачковых механизмов, стал нужен один контроллер. ПЛК состоит из центрального устройства управления (ЦПУ), источника питания (на основе постоянного или переменного тока) и модулей в соответствии с требованиями решаемой задачи, таких как:

- модули ввода для подключения датчиков, кнопок и других входных сигналов;
- модули вывода для подключения исполнительных механизмов, световой индикации, клапанов и т. п.;
- коммуникационные модули;
- модули удаленного ввода-вывода;
- специализированные, так называемые «экспертные» модули, такие как высокоскоростные счетчики, модули взвешивания;
- модули управления перемещениями рабочих органов станков и машин.

ПЛК работает строго циклически: получение входов (значения входов из модулей формируют образ памяти ЦПУ) – обработка

данных в памяти и вычисления по программе – обновление выходов. Время цикла контроллера зависит от размера программы, сложности обработки и мощности ЦПУ. Время цикла обычно составляет величину порядка нескольких десятков миллисекунд и ограничено сверху встроенным механизмом защиты, называемым «сторожевой таймер». ПЛК отличается от компьютера надежностью работы и простотой обслуживания. Модули ПЛК можно легко заменять, и контроллер возобновляет работу очень быстро.

В зависимости от решаемых задач автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) могут иметь различную структуру; выделяют 3 класса АСУ ТП:

- локальные;
- централизованные;
- распределенные системы управления.

Локальная система управления используется для управления технологически независимым объектом с компактно расположенным оборудованием, и несложными задачами управления. Примеры локальных систем: системы стабилизации, следящие, программного управления. Основные элементы локальной системы: технологический объект управления (ОУ), датчики, исполнительное устройство и локальный регулятор. В системе обычно предусматриваются элементы ручного управления и связи с оператором (рис. 1.11).

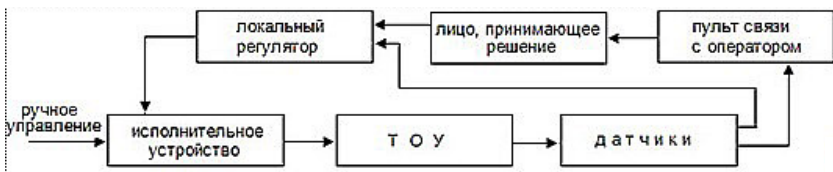


Рис. 1.11. Типовая структура локальной системы управления

Централизованная система управления используется для управления сосредоточенным объектом со сложными или разнообразными функциями управления или большим количеством сигналов «вход-выход». В системе есть два уровня (рис. 1.12): на нижнем уровне находятся объекты управления с датчиками и исполнительными устройствами на верхнем – управляющая вычислительная машина (УВМ), т. е. ПЛК, а также устройство сопряжения с объектом

(УСО). УСО преобразует различные по виду сигналы от датчиков (входные сигналы), в цифровой код в формате, определяемом конкретным ПЛК. Сформированные ПЛК в виде цифрового кода сигналы управляющих воздействий для исполнительных устройств (выходные сигналы) УСО преобразует к одному из стандартных видов. Для контроля над процессом предусмотрен пульт связи с оператором. Все процессы обработки сигналов датчиков и формирование управляющих сигналов для всех контуров управления последовательно исполняет один и тот же ПЛК. Он также обеспечивает интерфейс с оператором.

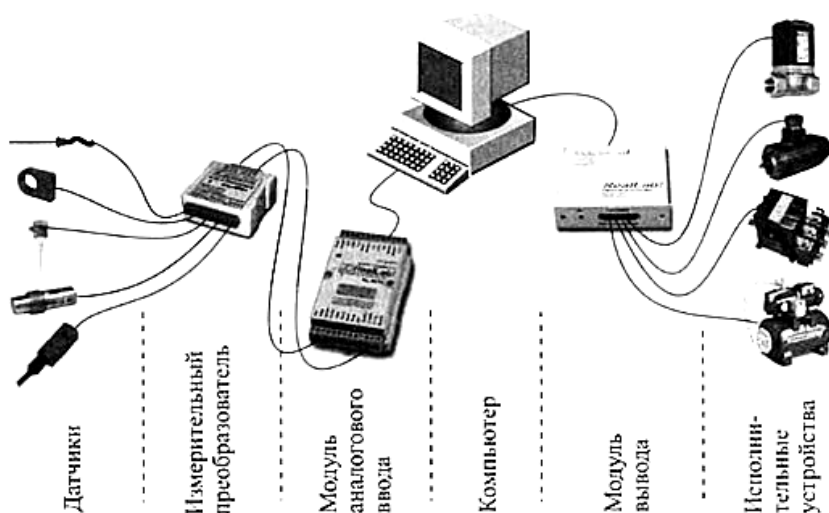


Рис. 1.12. Типовая структура централизованной системы управления

Достоинствами централизованной структуры являются достаточно простая реализация процессов информационного взаимодействия; принципиальная возможность оптимального управления системой в целом; достаточно легкая коррекция оперативно изменяемых входных параметров; возможность достижения максимальной эксплуатационной эффективности при минимальной избыточности технических средств управления.

Недостатки централизованной структуры следующие: необходимость высокой надежности и производительности технических

средств управления для достижения приемлемого качества управления; высокая суммарная протяженность каналов связи при наличии территориальной рассредоточенности объектов управления. Нужно учитывать многократно возрастающую вероятность ошибки при монтаже проводников в многочисленных кроссовых клеммных колодках и сложность поиска и устранения неисправностей. Отдельно стоит упомянуть о ситуации, когда в составе объекта управления появляется еще несколько входных или выходных каналов. Добавление новых линий связи к уже проложенной кабельной системе – занятие не из простых.

С ростом количества датчиков, увеличением площади территории, на которой расположена автоматизированная система и усложнением алгоритмов управления становится более эффективным применение распределенных систем. Сегодня, когда микропроцессоры и другие специализированные микросхемы достаточно подешевели, стало целесообразным выделять в общей системе АСУ отдельные локальные задачи и решение их поручать локальным контроллерам. Прошли те времена, когда нормой жизни считался огромный шкаф, напичканный автоматикой, с выходящими из него толстыми пучками кабелей, ведущими к датчикам и исполнительным механизмам. Сегодня в большинстве случаев становится экономически целесообразной установка на площади цеха или участка нескольких локальных контроллеров или интеллектуальных УСО, объединенных в единую сеть, чем прокладка разветвленных кабельных систем. Такая архитектура существенно увеличивает производительность, надежность и масштабируемость систем. Кроме того, современные исполнительные механизмы, как правило, сами являются интеллектуальными и законченными «субъектами» промышленных сетей.

Распределенные системы состоят из множества территориально разнесенных контроллеров и модулей ввода-вывода (рис. 1.13). При таком подходе структура распределенной системы и структура алгоритма ее работы становятся подобны структуре самого объекта автоматизации, а функции сбора, обработки данных, управления и вычисления оказываются распределенными среди множества контроллеров. Каждый контроллер работает со своей группой устройств ввода-вывода и обслуживает определенную часть объекта управления. В частности, технологическое оборудование, как правило,



выпускается с уже встроенными ПЛК. Тенденция децентрализации управления и приближения контроллеров к объектам управления является общей для всех систем автоматизации.

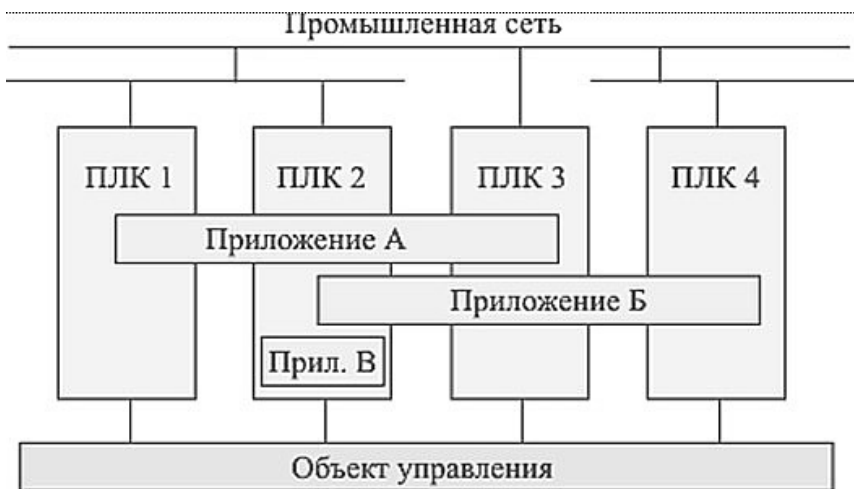


Рис. 1.13. Модель распределенной системы автоматизации в соответствии со стандартом МЭК 61499

Распределенная система имеет следующие характеристики, отличающие ее от сосредоточенной:

- большее быстродействие благодаря распределению задач между параллельно работающими процессорами;
- повышенную надежность (отказ одного из контроллеров не влияет на работоспособность других);
- большую устойчивость к сбоям;
- более простое наращивание или реконфигурирование системы;
- упрощенную процедуру модернизации;
- простоту проектирования;
- улучшенную помехоустойчивость и точность благодаря уменьшению длины линий передачи аналоговых сигналов от датчиков к устройствам ввода;
- меньший объем кабельной продукции, пониженные требования к кабелю и более низкая его стоимость;

– меньшие расходы на монтаж и обслуживание кабельного хозяйства.

Модель распределенной системы автоматизации, в соответствии со стандартом МЭК 61499, может быть представлена как набор физических устройств (например, ПЛК), взаимодействующих между собой с помощью одной или нескольких промышленных сетей. Сети могут иметь иерархическую структуру.

Распределенная система смягчает также требования к операционным системам (ОС) реального времени, поскольку задачи распределены между параллельно работающими контроллерами, на каждом из которых установлена отдельная ОС.

Чаще всего распределенные АСУ ТП имеют трехуровневую структуру. Пример структурной схемы комплекса технических средств такой системы приведен на рис. 1.14.

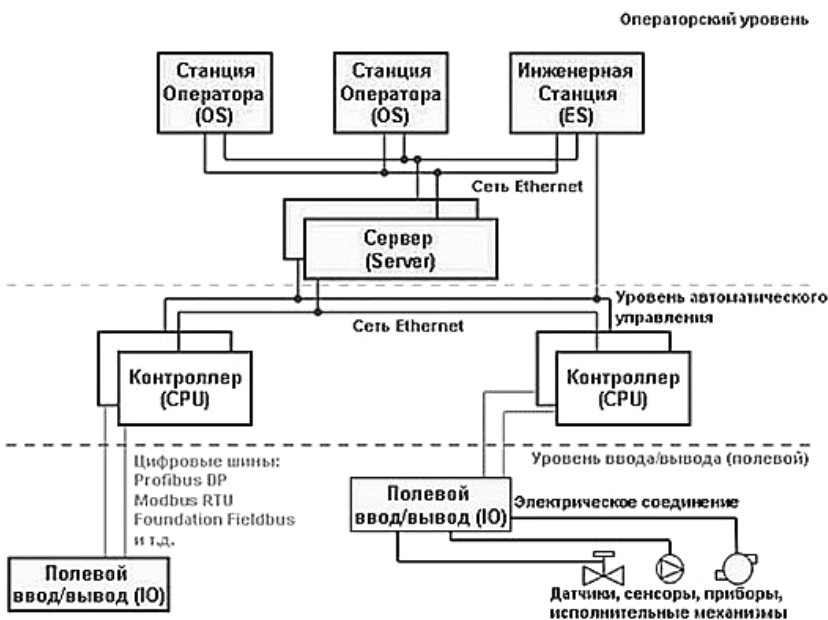


Рис. 1.14. Пример структурной схемы распределенной АСУ ТП

На верхнем уровне с участием оперативного персонала решаются задачи диспетчеризации процесса, оптимизации режимов, подсчета

технико-экономических показателей производства, визуализации и архивирования процесса, диагностики и коррекции программного обеспечения системы. Верхний уровень АСУ ТП реализуется на базе серверов, операторских (рабочих) и инженерных станций.

На среднем уровне – задачи автоматического управления и регулирования, пуска и останова оборудования, логико-командного управления, аварийных отключений и защит. Средний уровень реализуется на основе ПЛК.

Нижний (полевой) уровень АСУ ТП обеспечивает сбор данных о параметрах технологического процесса и состояния оборудования, реализует управляющие воздействия. Основными техническими средствами нижнего уровня являются датчики и исполнительные устройства, станции распределенного ввода/вывода, пускатели, концевые выключатели, преобразователи частоты.

Примером распределенной системы может служить архитектура с общей шиной (рис. 1.15). Все элементы соединены вместе вдоль одной линии передачи. Здесь слово «шина» относится к физической линии. Данная топология легко реализуема. Выход из строя узла или элемента не препятствует работоспособности остальных устройств. Сети на уровнях машин и датчиков, также известные как полевые шины, используют именно эту систему.

Для того чтобы получить данные из модуля или контроллера, компьютер (или контроллер) посылает в шину его адрес и команду запроса данных. Микропроцессор, входящий в состав каждого модуля или контроллера, сверяет адрес на шине с его собственным адресом, записанным в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), и, если адреса совпадают, исполняет следующую за адресом команду. Команда позволяет считать данные, поступающие на вход устройства, или установить необходимые данные на его выходе.

Распределенная система с общей шиной порождает две новые проблемы по сравнению с простой топологией: необходимость адресации устройств и необходимость ожидания в очереди. Добавление адреса в коммуникационный пакет снижает скорость обмена при коротких сообщениях, а обмен по общей шине приводит к тому, что каждое устройство для передачи сообщения должно ждать, когда шина станет свободной. Это замедляет скорость обмена между устройствами по сравнению с топологией «точка-точка».

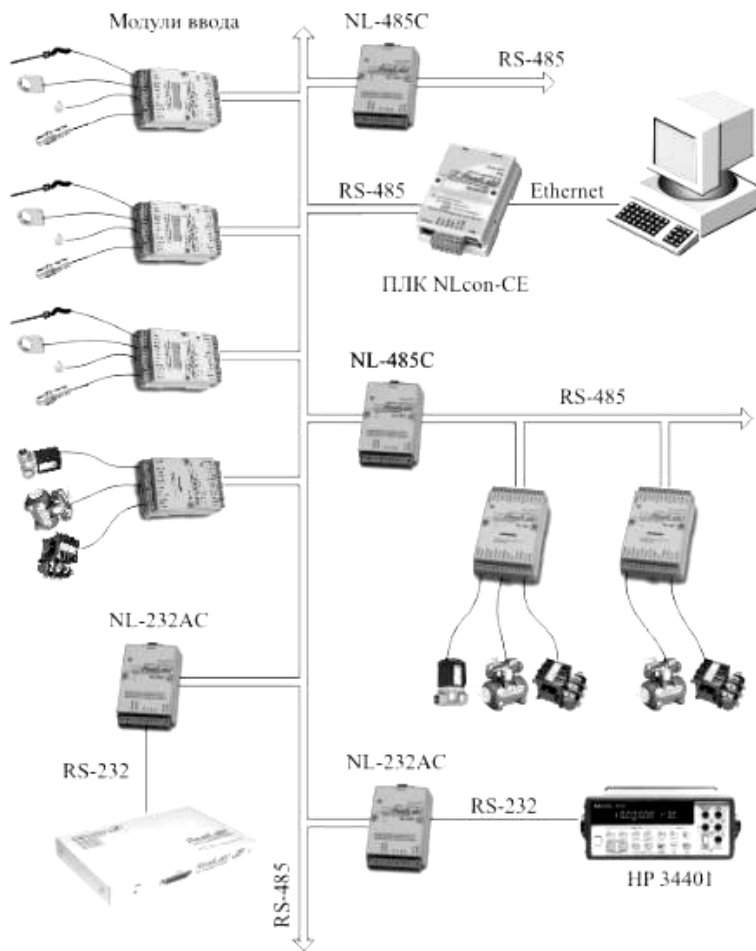


Рис. 1.15. Пример архитектуры распределенной системы сбора данных и управления

Распределенные системы строятся, как правило, из коммерчески доступных компонентов (ПЛК, модулей ввода-вывода, датчиков, исполнительных устройств).

Промышленная сеть может быть подключена не только к одному компьютеру, но и к сети компьютеров, например, к локальной сети Ethernet или глобальной сети Internet. Такая архитектура

автоматизированной системы удобна при коллективной работе с системой автоматизации или для связи технологического уровня АСУ с управленческим (рис. 1.16).

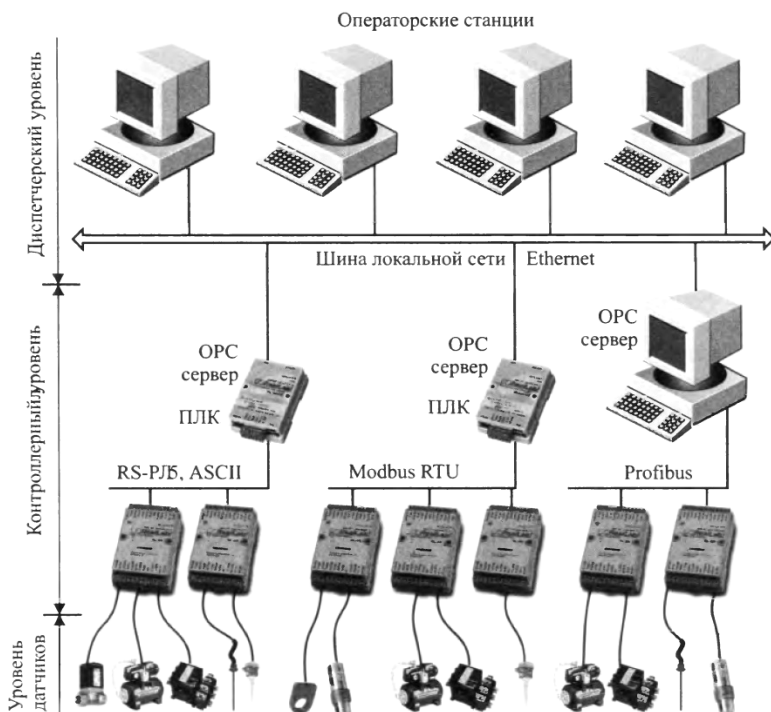


Рис. 1.16. Типовая современная распределенная система автоматизации

Промышленной сетью называют комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают обмен информацией между устройствами в распределенных системах сбора данных и управления.

Соединение промышленной сети с ее компонентами (устройствами, узлами сети) выполняется с помощью сетевого интерфейса – логическая и/или физической границы между устройством и средой передачи информации. Обычно это набор электронных компонентов и связанного с ними программного обеспечения. При существенных модификациях внутренней структуры устройства или программного

обеспечения интерфейс остается без изменений, что является одним из признаков, позволяющих выделить интерфейс в составе оборудования.

Наиболее важными параметрами интерфейса являются пропускная способность и максимальная длина подключаемого кабеля. Промышленные интерфейсы обычно обеспечивают гальваническую развязку между соединяемыми устройствами. Наиболее распространены в промышленной автоматизации последовательные интерфейсы RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet.

Для обмена информацией взаимодействующие устройства должны иметь одинаковый протокол обмен – набор правил, которые управляют обменом информацией, определяющий синтаксис и семантику сообщений, операции управления, синхронизацию и состояния при коммуникации. Протокол может быть реализован аппаратно, программно или программно-аппаратно. Название сети обычно совпадает с названием протокола, что объясняется его определяющей ролью при создании сети.

Иерархия АСУ промышленных предприятий обычно представляется в виде четырехэтажной пирамиды (рис.1.17).

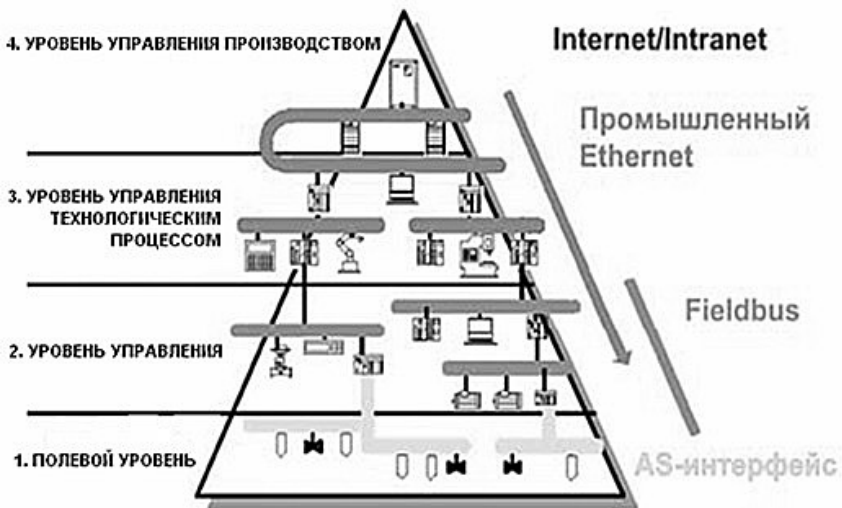


Рис. 1.17. Иерархия уровней современной распределенной системы автоматизации

На уровне управления предприятием располагаются обычные IBM-PC-совместимые компьютеры и файловые серверы, объединенные локальной сетью. Задача вычислительных систем на этом уровне – обеспечение визуального контроля основных параметров производства, построение отчетов, архивирование данных. Объемы передаваемых между узлами данных измеряются мегабайтами, а временные показатели обмена информацией не являются критичными.

На уровне управления технологическим процессом осуществляется текущий контроль и управление либо в ручном режиме с операторских пультов, либо в автоматическом режиме по заложенному алгоритму. На этом уровне выполняется согласование параметров отдельных участков производства, обработка аварийных и предаварийных ситуаций, параметризация контроллеров нижнего уровня, загрузка технологических программ, дистанционное управление исполнительными механизмами. Информационный кадр на этом уровне содержит, как правило, несколько десятков байтов, а допустимые временные задержки могут составлять от 100 до 1000 миллисекунд в зависимости от режима работы.

На уровне управления оборудованием располагаются контроллеры, осуществляющие непосредственный сбор данных от датчиков и управление исполнительными устройствами. Размер данных, которыми контроллер обменивается с оконечными устройствами, обычно составляет несколько байтов при скорости опроса устройств не более 10 мс.

## **1.2. Типы передачи данных. Последовательная и параллельная передача данных**

Передача данных (обмен данными, цифровая передача, цифровая связь) – физический перенос данных (цифрового битового потока) в виде сигналов от точки к точке или от точки к нескольким точкам средствами электросвязи по каналу передачи данных, как правило, для последующей обработки средствами вычислительной техники. Примерами подобных каналов могут служить медные провода, ВОЛС, беспроводные каналы передачи данных или запоминающее устройство (рис. 1.18).

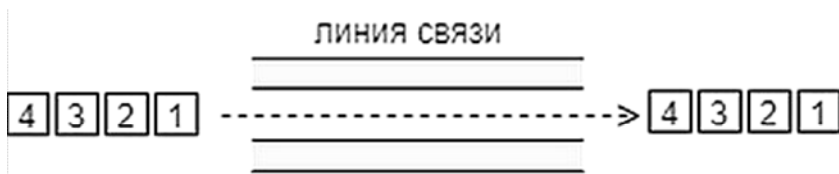


Рис. 1.18. Последовательная передача данных

Для передачи данных между компьютерами, ноутбуками используются два метода, а именно: последовательная передача и параллельная передача. При последовательной передаче данных биты данных пересылаются по одному каналу по очереди (рис. 1.18). При параллельной передаче данных биты данных пересылаются одновременно по нескольким параллельным каналам одной линии связи (рис. 1.19).



Рис. 1.19. Параллельная передача данных

На рисунках нумерованные квадратики изображают биты данных. Передача данных производится слева направо. Линия связи изображена в разрезе (изображена изоляция от внешней среды и между каналами): на первом рисунке линия связи с одним каналом, на втором рисунке – линия связи с четырьмя каналами. Число четыре в данном случае ничего особенного не означает, каналов (как и входящих битов) может быть и больше, и меньше.

На первый взгляд, кажется, что в компьютерных сетях нужно выбирать параллельную передачу данных, так как параллельная передача данных должна быть быстрее, чем последовательная (на вышеприведенных рисунках – в 4 раза, за счет большего числа каналов). Однако на практике в подавляющем большинстве случаев



для прокладки компьютерных сетей выбирают последовательную передачу данных.

Во-первых, очевидно, линия связи с одним каналом дешевле линии связи с несколькими параллельными каналами за счет меньшего количества материала, потраченного на ее изготовление. Кроме этого, линия связи с одним каналом занимает меньше места, чем линия связи с несколькими каналами.

Во-вторых, в случае параллельных каналов требуется обеспечить их работу с одинаковой скоростью, в противном случае на выходе изначальный порядок бит перепутается, и данные будут повреждены. Это тоже дополнительные трудности, которые отсутствуют в случае последовательной передачи данных.

В-третьих, параллельные каналы создают помехи работе друг друга. Это так называемые «перекрестные помехи», связанные с электромагнитным влиянием параллельных каналов друг на друга.

Хотя аналоговая связь является передачей постоянно меняющегося цифрового сигнала, цифровая связь является непрерывной передачей сообщений. Сообщения представляют собой либо последовательность импульсов, означающую линейный код (в полосе пропускания), либо ограничивается набором непрерывно меняющейся формы волны, используя метод цифровой модуляции. Такой способ модуляции и соответствующая ему демодуляция осуществляются модемным оборудованием.

Передаваемые данные могут быть цифровыми сообщениями, идущими из источника данных, например, из компьютера или от клавиатуры. Это может быть и аналоговый сигнал – телефонный звонок или видеосигнал, оцифрованный в битовый поток, используя импульсно-кодирующую модуляцию (PCM) или более расширенные схемы кодирования источника (аналого-цифровое преобразование и сжатие данных). Кодирование источника и декодирование осуществляется кодеком или кодирующим оборудованием.

По типу среды передачи компьютерные сети делятся на проводные (телефонный провод, коаксиальный кабель, витая пара, волоконно-оптический кабель), беспроводные (передачей информации по радиоволнам в определенном частотном диапазоне).

По скорости передачи данных компьютерные сети подразделяются на низкоскоростные (до 10 Мбит/с), среднескоростные (до 100 Мбит/с), высокоскоростные (свыше 100 Мбит/с).

В телекоммуникации последовательная передача – это последовательность передачи элементов сигнала, представляющих символ или другой объект данных. Цифровая последовательная передача – это последовательная отправка битов по одному проводу, частоте или оптическому пути. Так как это требует меньшей обработки сигнала и меньше вероятность ошибки, чем при параллельной передаче, то скорость передачи данных по каждому отдельному пути может быть быстрее. Этот механизм может использоваться на более дальних расстояниях, потому что легко может быть передана контрольная цифра или бит четности.

Параллельной передачей в телекоммуникациях называется одновременная передача элементов сигнала одного символа или другого объекта данных. В цифровой связи параллельной передачей называется одновременная передача соответствующих элементов сигнала по двум или большему числу путей. Используя множество электрических проводов, можно передавать несколько бит одновременно, что позволяет достичь более высоких скоростей передачи, чем при последовательной передаче. Этот метод применяется внутри компьютера, например, во внутренних шинах данных, а иногда и во внешних устройствах, таких, как принтеры. Основной проблемой при этом является «перекос», потому что провода при параллельной передаче имеют немного разные свойства (не специально), поэтому некоторые биты могут прибыть раньше других, что может повредить сообщение. Бит четности может способствовать сокращению ошибок. Тем не менее, электрический провод при параллельной передаче данных менее надежен на больших расстояниях, поскольку передача нарушается с гораздо более высокой вероятностью.

Симплексная связь – связь, при которой информация передается только в одном направлении. Существуют два определения симплексной связи. По определению ANSI схема симплексной связи позволяет передавать сигналы всегда только в одном направлении. Такая связь используется в радио-, теле- и спутниковом вещании, поскольку нет необходимости передавать какие-либо данные обратно на радиопередающую станцию. Другой пример симплексной связи – односторонняя связь между радиомикрофоном и его базовой станцией, сигнал с микрофона передается на базовую станцию, но сама базовая станция ничего не отправляет на радиомикрофон.

По определению ITU-T схема симплексной связи позволяет передавать сигналы в каждый момент времени только в одном направлении. В другой момент времени сигналы могут передаваться в противоположном направлении. Такой вид связи обычно называют полудуплексной связью. Примером данного вида связи могут служить сетевые карты, соединенные коаксиальным кабелем и многие виды технологической радиосвязи.

### **Дуплексный режим**

Дуплексная радиосвязь предусматривает одновременную двустороннюю передачу информации. Исторически первыми концепцию реализовали трансатлантический телеграф (70-е), телетайпы (90-е). Идея вызвана необходимостью экономии спектра физического канала. Режим, когда передача данных может производиться одновременно с приемом данных (иногда его также называют «полнодуплексным», для того, чтобы яснее показать разницу с полудуплексным).

Дуплексная связь обычно осуществляется с использованием двух каналов связи: первый канал – исходящая связь для первого устройства и входящая для второго, второй канал – исходящая для второго устройства и входящая для первого.

Суммарная скорость обмена информацией по каналу связи в данном режиме может достигать своего максимума. Например, если используется технология Fast Ethernet со скоростью 100 Мбит/с, то скорость может быть близка к 200 Мбит/с (100 Мбит/с – передача и 100 Мбит/с – прием).

В ряде случаев возможна дуплексная связь с использованием одного канала связи. В этом случае устройство при приеме данных вычитает из сигнала свой отправленный сигнал, а получаемая разница является сигналом отправителя (модемная связь по телефонным проводам, Gigabit Ethernet 1000BASE-T).

### **Полудуплексный режим**

Полудуплекс – режим, при котором, в отличие от дуплексного, передача ведется по одному каналу связи на разных частотах в обоих направлениях, но с разделением по времени (в каждый момент времени передача ведется только в одном направлении). Полная скорость обмена информацией по каналу связи в этом режиме по сравнению с дуплексом имеет вдвое меньшее значение.

Разделение во времени вызвано тем, что передающий узел в конкретный момент времени полностью занимает канал передачи. Явление, когда несколько передающих узлов пытаются в один и тот же момент времени осуществлять передачу, называется коллизией и при методе управления доступом CSMA/CD считается нормальным, хотя и нежелательным явлением.

Этот режим применяется тогда, когда в сети используется коаксиальный кабель или в качестве активного оборудования используются концентраторы.

### ***Последовательная передача данных в промышленных сетях Интерфейсы последовательной передачи***

Последовательный интерфейс для передачи данных использует одну сигнальную линию, по которой информационные биты передаются друг за другом последовательно. Отсюда – название интерфейса и порта. Английские термины – Serial Interface и Serial Port. Последовательная передача позволяет сократить количество сигнальных линий и увеличить дальность связи. Характерной особенностью является применение не ТТЛ сигналов. В ряде последовательных интерфейсов применяется гальваническая развязка внешних (обычно входных) сигналов от схемной земли устройства, что позволяет соединять устройства, находящиеся под разными потенциалами. Ниже будут рассмотрены интерфейсы RS-232C, RS 422A, RS-423A, RS-485, токовая петля, MIDI, а также COM-порт.

#### **Способы последовательной передачи**

Последовательная передача данных может осуществляться в асинхронном или синхронном режимах. При асинхронной передаче каждому байту предшествует старт-бит, сигнализирующий приемнику о начале посылки, за которым следуют биты данных и, возможно, бит паритета (четности). Завершает посылку стоп-бит, гарантирующий паузу между посылками (рис. 1.20). Старт-бит следующего байта посылается в любой момент после стоп-бита, то есть между передачами возможны паузы произвольной длительности. Старт-бит, имеющий всегда строго определенное значение (логический 0), обеспечивает простой механизм синхронизации приемника по сигналу от передатчика. Подразумевается, что приемник и передатчик работают на одной скорости обмена. Внутренний

генератор синхронизации приемника использует счетчик-делитель опорной частоты, обнуляемый в момент приема начала старт-бита. Этот счетчик генерирует внутренние стробы, по которым приемник фиксирует последующие принимаемые биты. В идеале стробы располагаются в середине битовых интервалов, что позволяет принимать данные и при незначительном рассогласовании скоростей приемника и передатчика. Очевидно, что при передаче 8 бит данных, одного контрольного и одного стоп-бита, предельно допустимое рассогласование скоростей, при котором данные будут распознаны верно, не может превышать 5 %. С учетом фазовых искажений и дискретности работы внутреннего счетчика синхронизации реально допустимо меньшее отклонение частот. Чем меньше коэффициент деления опорной частоты внутреннего генератора (чем выше частота передачи), тем больше погрешность привязки стробов к середине битового интервала, и требования к согласованности частот становятся более строгими. Чем выше частота передачи, тем больше влияние искажений фронтов на фазу принимаемого сигнала. Взаимодействие этих факторов приводит к повышению требований к согласованности частот приемника и передатчика с ростом частоты обмена.



Рис. 1.20. Формат асинхронной передачи

Формат асинхронной посылки позволяет выявлять возможные ошибки передачи.

Если принят перепад, сигнализирующий о начале посылки, а по стробу старт-бита зафиксирован уровень логической единицы, старт-бит считается ложным, и приемник снова переходит в состояние ожидания. Об этой ошибке приемник может и не сообщать.

Если во время, отведенное под стоп-бит, обнаружен уровень логического нуля, фиксируется ошибка стоп-бита.

Если применяется контроль четности, то после посылки бит данных передается контрольный бит. Этот бит дополняет количество единичных бит данных до четного или нечетного в зависимости от принятого соглашения. Прием байта с неверным значением контрольного бита приводит к фиксации ошибки.

Контроль формата позволяет обнаруживать обрыв линии: при этом принимаются логический нуль, который сначала трактуется как старт-бит, и нулевые биты данных, потом срабатывает контроль стоп-бита.

Для асинхронного режима принят ряд стандартных скоростей обмена: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200, 38 400, 57 600 и 115 200 бит/с. Иногда вместо единицы измерения «бит/с» используют «бод» (baud), но при рассмотрении двоичных передаваемых сигналов это некорректно. В бодах принято измерять частоту изменения состояния линии, а при двоичном способе кодирования (широко применяемом в современных модемах) в канале связи скорости передачи бит (бит/с) и изменения сигнала (бод) могут отличаться в несколько раз.

Количество бит данных может составлять 5, 6, 7 или 8 (5- и 6-битные форматы распространены незначительно). Количество стоп-бит может быть 1, 1,5 или 2 («полтора бита» означает только длительность стопового интервала).

Асинхронный обмен в РС реализуется с помощью СОМ-порта с использованием протокола RS-232С.

Синхронный режим передачи предполагает постоянную активность канала связи. Посылка начинается с синхробайта, за которым сразу же следует поток информационных бит. Если у передатчика нет данных для передачи, он заполняет паузу непрерывной посылкой байтов синхронизации. Очевидно, что при передаче больших массивов данных накладные расходы на синхронизацию в данном режиме будут ниже, чем в асинхронном. Однако в синхронном режиме необходима внешняя синхронизация приемника с передатчиком, поскольку даже малое отклонение частот приведет к искажению принимаемых данных.

Внешняя синхронизация возможна либо с помощью отдельной линии для передачи сигнала синхронизации, либо с использованием самосинхронизирующего кодирования данных, при котором на стороне приемника из принятого сигнала могут быть выделены импульсы синхронизации. В любом случае синхронный режим

требует дорогих линий связи или окончного оборудования. Для PC существуют специальные платы – адаптеры SDLC, поддерживающие синхронный режим обмена. Они используются в основном для связи с большими машинами (mainframes) IBM и мало распространены. Из синхронных адаптеров в настоящее время применяются адаптеры интерфейса V.35.

Прежде чем перейти к рассмотрению различных реализаций (стандартов) последовательной связи, обратим внимание на некоторые тонкости в терминологии.

К примеру, что значит RS в сокращениях типа RS-232, RS-485, RS-422. RS – это всего-навсего Recommended Standard (рекомендованный стандарт). Ключевое слово тут – «рекомендованный», означающее, что эти стандарты никогда никем не были приняты (в противоположность таким стандартам, как IEEE-1284 или IEEE-1394), они были просто «рекомендованные». Естественно, это позволяет производителям гордиться тем, что кто-то (например, питание по 9-му пину в RS-232 вовсе не оговорено стандартом, однако широко используется) и называется стандартом. Далее, все RS-протоколы можно приблизительно разделить на полудуплексные (half-duplex) и дуплексные (full-duplex). Правда, деление такое не совсем точно, т. к. тот же RS-485 может быть и полудуплексным (два провода) и дуплексным (четыре провода), они так и называются: 2-wire (2-проводный) RS-485 и 4-wire (4-проводный) RS-485. RS-485 именно полудуплексный, RS-232 – дуплексный протокол.

### **Протоколы последовательной передачи данных**

На физическом уровне последовательный интерфейс имеет различные реализации, различающиеся способом передачи электрических сигналов. Существует ряд родственных международных стандартов: RS-232C, RS-423A, RS-422A и RS-485.

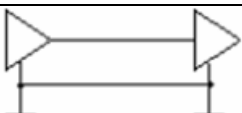


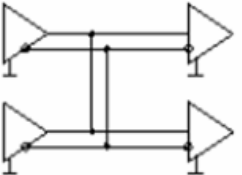
Существует несколько родственных последовательных интерфейсов: RS-232C, RS-423A, RS-422A, RS-455A. В табл. 1.1 приведены схемы соединения приемников и передатчиков, а также показаны ограничения на длину линии (L) и максимальную скорость передачи данных (V).

Линии интерфейсов RS-232C и RS-423A несимметричны, имеют самую низкую защищенность от синфазной помехи. RS-423A имеет приемник с дифференциальным входом, что несколько повышает его помехозащищенность. Лучшими параметрами обладает

симметричный дуплексный интерфейс RS-422A и его полудуплексный магистральный аналог RS-485A. Приемник и передатчик RS-422A и RS-485A имеют дифференциальные входы и, следовательно, обладают высокой защищенностью от синфазных помех. Интерфейс RS-485A обладает передатчиком повышенной мощности с защитой от короткого замыкания линии, защитой от перегрева при длительной перегрузке и защитой от коллизий (одновременной работы нескольких параллельно включенных передатчиков).

Таблица 1.1

Характеристики последовательных интерфейсов

Тип	Схема	V, L
RS-232C	 <p>дуплекс</p>	<p>L = 15 м, V = 20 Кбит/с</p>
RS-423A	 <p>дуплекс</p>	<p>L = 9 м, V = 100 Кбит/с L = 91 м, V = 10 Кбит/с L = 1200 м, V = 1 Кбит/с</p>
RS-422A	 <p>дуплекс</p>	<p>L = 12 м, V = 10 Мбит/с L = 120 м, V = 1 Мбит/с L = 1200 м, V = 100 Кбит/с</p>
RS-485A	 <p>Полудуплекс, до 32 параллельно соединенных примемопередатчиков</p>	<p>L = 12 м, V = 10 Мбит/с L = 120 м, V = 1 Мбит/с L = 1200 м, V = 100 Кбит/с</p>



Наиболее используемыми в компьютерной индустрии являются два протокола – RS-232 и RS-485 (а также RS-422, который очень похож на RS-485). Важное отличие: протокол RS-232 использует небалансный (unbalanced) сигнал, в то время как RS-422/RS-485 используют балансный (balanced) сигнал.

Небалансный сигнал передается по несбалансированной линии, представляющей собой сигнальную землю и одиночный сигнальный провод, уровень напряжения на котором используется, чтобы передать или получить двоичные 1 или 0. Напротив, балансный сигнал передается по сбалансированной линии, которая представлена сигнальной землей и парой проводов, разница напряжений между которыми используется для передачи/приема бинарной информации (все вместе составляет экранированную витую пару).

Не углубляясь в подробности, можно сказать, что сбалансированный сигнал передается быстрее и дальше, чем несбалансированный. В табл. 1.2 сравнительная таблица для рекомендованных протоколов.

Таблица 1.2

Характеристики последовательных интерфейсов RS-232, RS-422, RS-485

	RS-232	RS-422	RS-485
Соединения	Одиночный провод	Одиночный провод/много соединений допустимо	Много соединений допустимо
Количество устройств	1 передатчик 1 приемник	5 передатчиков 10 приемников на 1 передатчик	32 передатчика 32 приемника
Вид протокола	дуплекс	дуплекс	полудуплекс
Макс. длина провода	~15,25 м при 19,2 Кбит	~1220 м при 100 Кбит	~1220 м при 100 Кбит
Макс. скорость передачи	19,2 Кбит для 15 м	10 Мбит для 15 м	10 Мбит для 15 м
Сигнал	небалансный	балансный	балансный

	RS-232	RS-422	RS-485
Двоичная 1	-5 В мин. -15 В макс.	2 В мин. (B>A) 6 В макс. (B>A)	1,5 В мин. (B>A) 5 В макс. (B>A)
Двоичный 0	5 В мин. 15 В макс.	2 В мин. (A>B) 6 В макс. (A>B)	1,5 В мин. (A>B) 5 В макс. (A>B)
Мин. входное напряжение	+/- 3 В	0,2 В диф.	0,2 В диф.
Выходной ток	500 мА	150 мА	250 мА

В перечисленных стандартах сигнал представляется потенциалом. Существуют последовательные интерфейсы, где информативен ток, протекающий по общей цепи передатчик-приемник – «токовая петля» и MIDI. Для связи на короткие расстояния приняты стандарты беспроводной инфракрасной связи. Наибольшее распространение в РС получил простейший из перечисленных – стандарт RS-232C, реализуемый COM-портами. В промышленной автоматике широко применяется RS-485, а также RS-422A. Существуют преобразователи сигналов для согласования этих родственных интерфейсов.

### **Интерфейс RS-232C**

RS-232 – это интерфейс (порт) последовательной передачи данных. В программируемых логических контроллерах используется для загрузки программ, связи с панелями оператора HMI, SCADA на ПК оператора, модулями ввода-вывода и другими ПЛК. В домашних компьютерах еще недавно RS-232 в виде «COM-порта» активно использовался для подключения мыши и интернет-модема. Со временем COM-порт на компьютере вытеснили более скоростные интерфейсы, например, USB. Но для большинства задач промышленной автоматизации скорости RS-232 хватает с головой, поэтому в ПЛК он еще долго будет популярен из-за простоты и надежности (рис. 1.21).

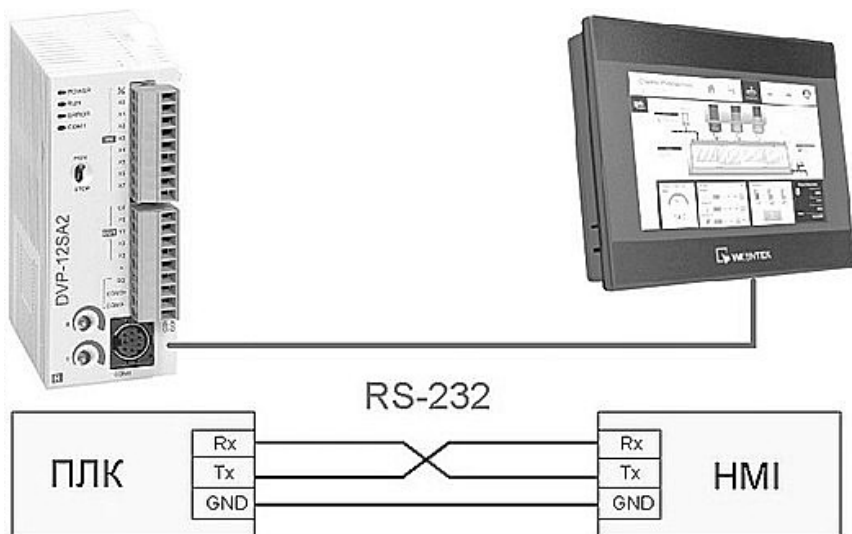


Рис. 1.21. Подключение устройств по интерфейсу RS-232

Для связи по интерфейсу RS-232 используются только три провода: прием данных (Rx), передача данных (Tx) и земля (GND). Скорость передачи данных – до 115–200 бит/сек. Передача данных происходит последовательно: главное устройство (Master) посылает запрос, подчиненное устройство (Slave) отвечает.

Для организации связи между ПЛК и другим устройством по RS-232 необходимо:

- соединить порты RS-232 обоих устройств кабелем типа «витая пара» длиной не более 15 м. Желательно, чтобы кабель был экранирован;
- установить на обоих устройствах одинаковые параметры RS-232: скорость, количество бит данных, количество стоповых бит, четность;
- установить на обоих устройствах одинаковый протокол передачи данных. Например, Modbus RTU;
- настроить протокол: одно из устройств сделать мастером, второе «слейвом». Назначить «слейву» сетевой адрес;
- в мастере настроить опрос регистров (ячеек памяти) «слейва» и дальнейшую их программную обработку.

Подключить компьютер или ноутбук к RS-232 ПЛК можно несколькими способами (рис. 1.22):

- по USB, через преобразователь RS-232/USB;
- через платы RS-232, которые вставляются в слоты PCI или PCI-e материнской платы ПК;
- непосредственно через COM-порт, при наличии контактов на материнских платах ПК.

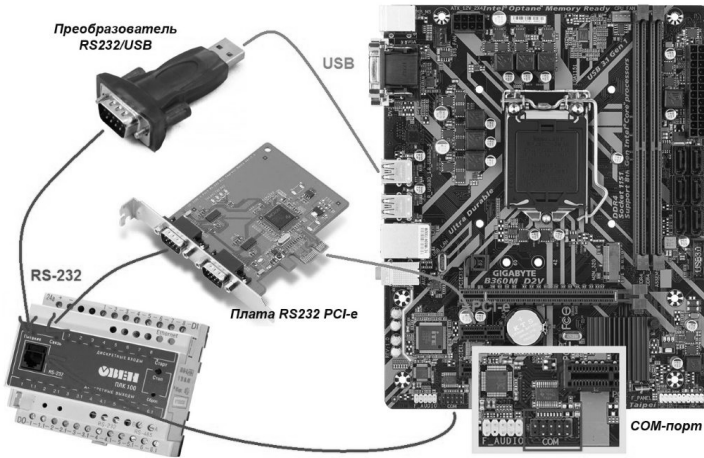


Рис. 1.22. Варианты подключения ПК к порту RS-232 ПЛК

Интерфейс RS-232 (или EIA-232) предназначен для организации приема-передачи данных между передатчиком или терминалом (англ. Data Terminal Equipment, DTE) и приемником или коммуникационным оборудованием (англ. Data Communications Equipment, DCE) по схеме точка–точка.

Для электрических кабельных соединений используют разъемы DB9 (9-контактные) или реже DB25 (25-контактные) (рис. 1.23).

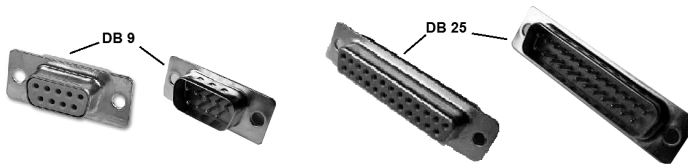


Рис. 1.23. Внешний вид электрических кабельных разъемов интерфейса RS-232

Распайка кабеля RS-232 зависит от типа соединения компьютер–модем, модем–модем или компьютер–компьютер. Например, для разъемов DB9 при соединении компьютер–компьютер распайка кабеля имеет следующий вид (рис. 1.24).

DTE компьютер			DB9			DB9			DTE компьютер		
Carrier Detection (DCD)	CD	1	←	→	1	CD	Carrier Detection (DCD)				
Receive Data (Rx)	RD	2	←	→	2	RD	Receive Data (Rx)				
Transmit Data (Tx)	TD	3	←	→	3	TD	Transmit Data (Tx)				
Data Terminal Ready (DTR)	DTR	4	←	→	4	DTR	Data Terminal Ready (DTR)				
Signal Ground/Common (SG)	GND	5	←	→	5	GND	Signal Ground/Common (SG)				
Data Set Ready	DSR	6	←	→	6	DSR	Data Set Ready				
Request to send	RTS	7	←	→	7	RTS	Request to Send				
Clear to Send	CTS	8	←	→	8	CTS	Clear to Send				
Ring Indicator	RI	9	←	→	9	RI	Ring Indicator				
Shield (Экран)	FGND		←	→		FGND	Shield (Экран)				

Рис. 1.24. Пример схемы распайки кабеля RS-232

Для успешного обмена данными ряд переменных параметров протокола должны быть заданы одинаково на стороне приемника и передатчика (рис. 1.25):

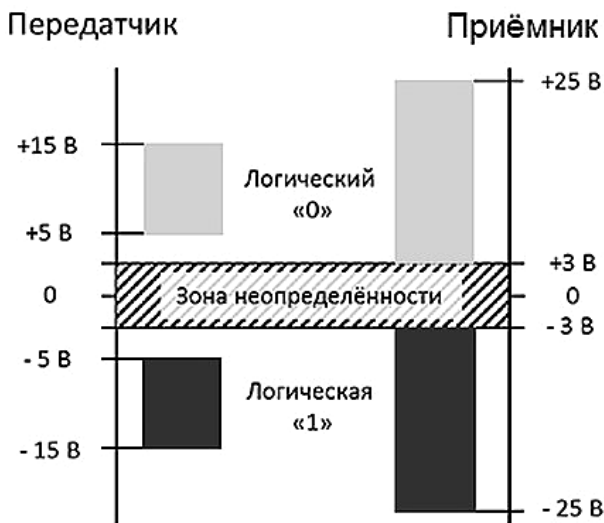


Рис. 1.25. Логические уровни сигналов передатчика и приемника RS-232

– скорость обмена данными в битах в секунду (300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 или другая, если она поддерживается обеими сторонами);

– количество бит данных – от 4 до 8;

– контроль четности может быть четным, нечетным или вообще отсутствовать;

– длина стоп-бита может достигать одну, полторы или две длительности бита данных.

К основным электрическим характеристикам относят:

– логические уровни передатчика: «0» – от +5 В до +15 В, «1» – от -5 В до -15 В;

– логические уровни приемника: «0» – от +3 В и выше, «1» – от -3 В и ниже;

– максимальная нагрузка передатчика: входное сопротивление приемника не менее 3 кОм.

Длина кабеля влияет на максимальную скорость передачи информации. Более длинный кабель имеет большую емкость и соответственно для обеспечения надежной передачи более низкую скорость. Большая емкость приводит к тому, что изменение напряжения одного сигнального провода может передаться на другой смежный сигнальный провод. Максимальным расстоянием обычно считается равным 15 м, но это не установлено в стандарте. Мы рекомендуем использовать на расстояниях до 50 м, но это зависит от типа используемого оборудования и характеристик кабеля.

Назначение сигналов следующее:

1. FG – защитное заземление (экран).
2. TxD – данные, передаваемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).
3. RxD – данные, принимаемые компьютером в последовательном коде (логика отрицательная).
4. RTS – сигнал запроса передачи (активен во все время передачи).
5. CTS – сигнал сброса (очистки) для передачи (активен во все время передачи. Говорит о готовности приемника).
6. DSR – готовность данных. Используется для задания режима модема.
7. SG – сигнальное заземление, нулевой провод.
8. DCD – обнаружение несущих данных (детектирование принимаемого сигнала).

9. DTR – готовность выходных данных.

10. RI – индикатор вызова. Говорит о приеме модемом сигнала вызова по телефонной сети.

Для двухпроводной линии связи в случае только передачи из компьютера во внешнее устройство используются сигналы SG и TxD. Все 10 сигналов интерфейса задействуются только при соединении компьютера с модемом.

Формат передаваемых данных показан на рис. 1.26. Собственно, данные (5, 6, 7 или 8 бит) сопровождаются стартовым битом, битом четности и одним или двумя стоповыми битами. Получив стартовый бит, приемник выбирает из линии биты данных через определенные интервалы времени. Очень важно, чтобы тактовые частоты приемника и передатчика были одинаковыми, допустимое расхождение – не более 10 %). Скорость передачи по RS-232C может выбираться из ряда: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19 200, 38 400, 57 600, 115 200 бит/с.

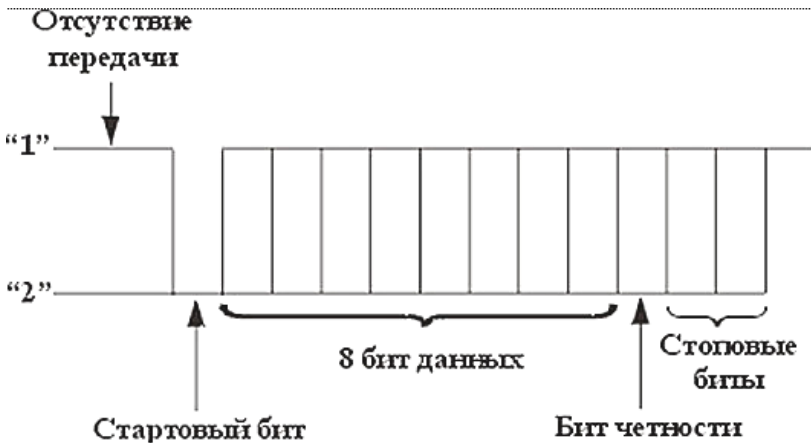


Рис. 1.26. Формат данных RS-232

### Принцип передачи данных в технологии OFDM

Изучая теорию технологий беспроводных сетей доступа или сетей сотовой связи, неизбежно, так или иначе, можно столкнуться с такой аббревиатурой, как OFDM. Обратившись к Википедии, мы обнаружим там следующее: «OFDM (англ. Orthogonal frequency-division

multiplexing) – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов, является цифровой схемой модуляции, которая использует большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции (например, квадратурная амплитудная модуляция) на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания. На практике сигналы OFDM получаются путем использования БПФ (быстрое преобразование Фурье)».

Поясним данное определение.

Параллельная передача данных с частотным разделением была придумана еще в середине 60-х годов прошлого века и использовалась, как и большинство известных сегодня технологий, сначала только в военных системах. Долгое время OFDM не находила весьма широкого распространения в других системах связи по причине сложной технической реализации. Решение задачи формирования OFDM сигнала аналоговыми методами весьма проблематично. Развитие вычислительных систем и методов цифровой обработки сигналов позволяет применять сегодня OFDM модуляцию в самых различных системах – от радио до проводных линий и даже волоконно-оптических.

Несмотря на то, что метод дословно расшифровывается как мультиплексирование с ортогональным частотным разделением, его все-таки в первую очередь относят к методам цифровой модуляции. Дело в том, что метод OFDM использует одновременно и модуляцию, и мультиплексирование, но мультиплексирование особенное. Обычное мультиплексирование подразумевает объединение различных сигналов от разных источников, здесь же происходит объединение составных частей одного и того же сигнала.

Постараемся объяснить все на простом примере. Представьте, что нам надо передать из одного пункта в другой стеклянный витраж. Для этого в нашем распоряжении есть некоторый ресурс, допустим 4 тележки (в случае передачи информации в качестве ресурса можно было бы считать доступный для передачи диапазон частот).

В случае OFDM мы разбираем наш стеклянный витраж на некоторое определенное количество частей, для примера пусть их будет 4



(рис. 1.27). Далее каждая тележка перевозит свою часть посылки (витража), при этом тележки катятся одновременно параллельно друг другу. Допустим, на пути у нас встречается одна преграда в виде камня (в случае передачи информации – узкополосная помеха). Одна из тележек наезжает на камень, соответственно одна из частей посылки не доходит до пункта приема (см. рис. 1.27).

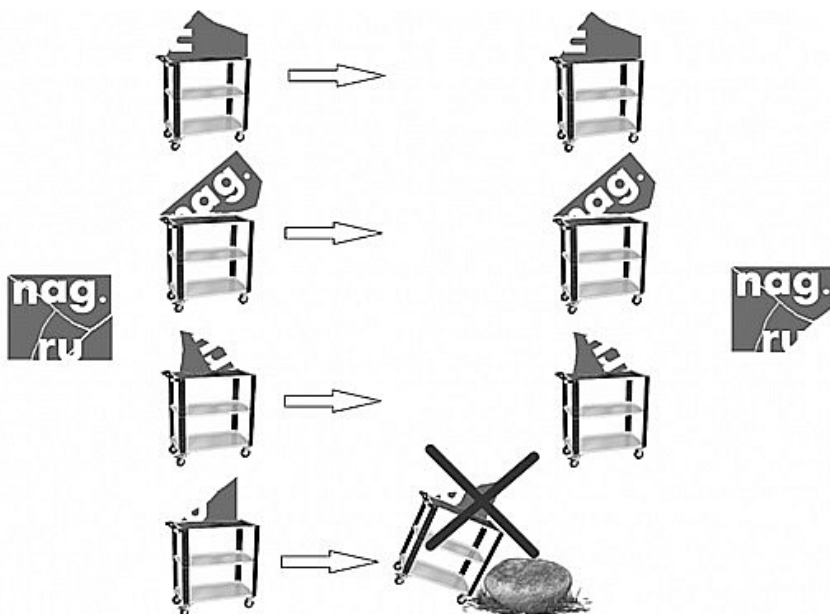


Рис. 1.27. Принцип передачи данных по технологии OFDM

Однако большее количество частей витража все-таки было корректно получено, поэтому с помощью интуиции и волшебства (помехоустойчивого кодирования), есть шанс восстановить недостающую в результате падения одной тележки часть посылки.

Алгоритма, по которому в данном случае распался на части наш витраж, мы не знаем, поэтому собрать по кусочкам заново мы его не можем. Итог: целый витраж не доехал до пункта приема (потерян немалый объем данных, здесь даже помехоустойчивое кодирование нас не спасет). Таким образом, можно сказать, что один из основных девизов OFDM: «не надо класть все яйца в одну корзину».

Одной из особенностей OFDM является то, что все тележки могут двигаться параллельно практически вплотную и при этом не мешать друг другу. При передаче информации роль тележек выполняют поднесущие сигналы, т. е. множество несущих колебаний (рис. 1.28).

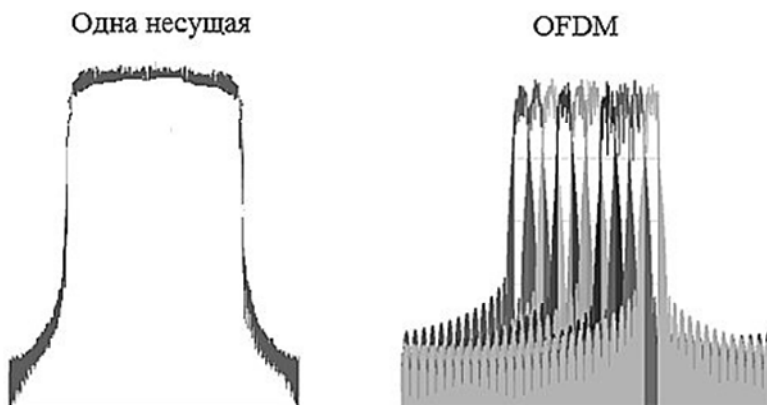


Рис. 1.28. К пояснению принципа передачи данных по технологии OFDM

Вспомним фильм «Терминатор-2» и представим, что тележки сделаны из жидкого металла. В связи с этим, даже если при движении пути тележек частично перекрываются, они не мешают друг другу, комфортно сосуществуют вместе и движутся дальше. Существует аналогичный эффект по отношению к передаче сигналов – ортогональность сигналов. Обычно для объяснения термина ортогональность сигналов приводят интегральное математическое выражение. Однако поскольку было дано обещание объяснять все на пальцах, можно просто уяснить следующее. Ортогональные сигналы обладают замечательным свойством – их взаимная энергия равна нулю. Ортогональность поднесущих позволяет на приеме выделить каждую из них из общего сигнала даже в случае частичного перекрытия их спектров. Поскольку поднесущие располагаются вплотную друг к другу и даже частично накладываются друг на друга (рис. 1.29), спектральная эффективность модулированного OFDM сигнала получается высокой.

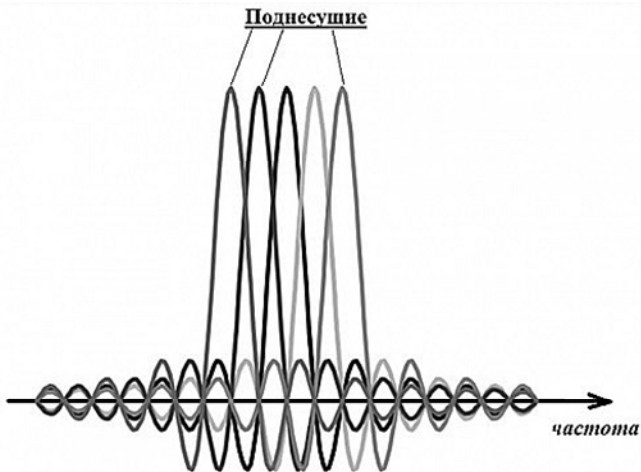


Рис. 1.29. Изображение поднесущих на частотной оси

Как видно из рисунка, каждая поднесущая представлена отдельным пиком. Обратите внимание, что в точке пика каждой поднесущей значение остальных поднесущих равно нулю. На оси времени каждой кривой соответствует свой модулированный сигнал. Сумма всех этих сигналов дает сложный по форме OFDM-сигнал (рис. 1.30).

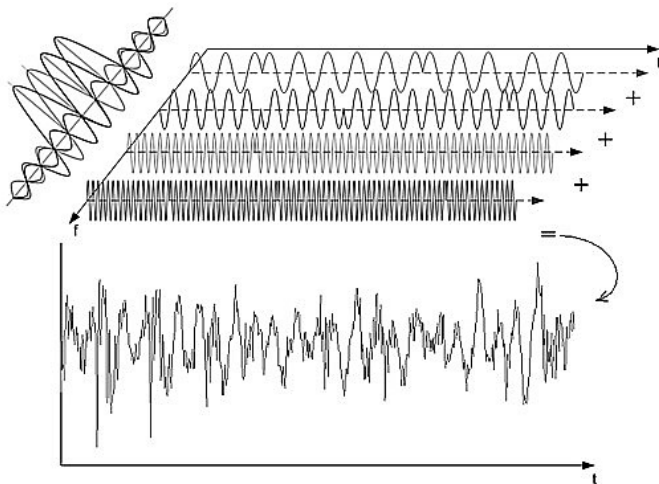


Рис. 1.30. Сложение колебаний разных несущих частот в единый OFDM-сигнал

Параметры поднесущих сигналов (например, синусоид) подбираются таким образом, чтобы они были по отношению друг к другу ортогональны. Для быстрой реализации данного действия с помощью вычислительных устройств используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). То есть мы нарочно представляем, что значения сигнала перед блоком ОБПФ относятся к частотной области. Тогда на выходе блока ОБПФ мы получаем значения сигнала на временной оси. Объединяя все значения, мы получаем сложный составной OFDM-сигнал (рис. 1.31).

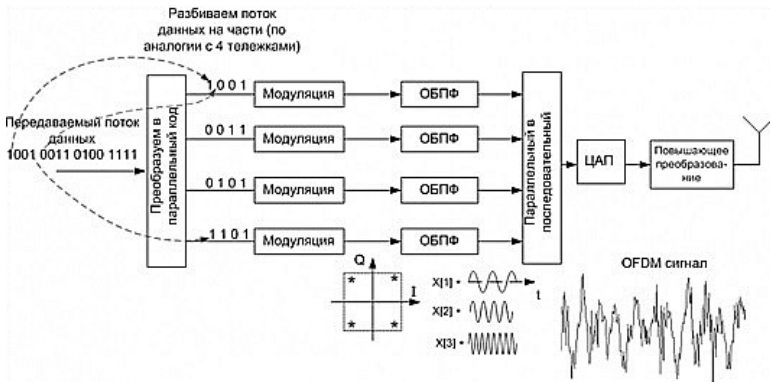


Рис. 1.31. Сложение колебаний разных несущих частот в единый OFDM-сигнал

Важно отметить, что в данной упрощенной схеме представлены не все блоки, имеющиеся в реальных системах с OFDM. Здесь для упрощения схемы не приведены блоки добавления защитных бит и циклического префикса, являющегося неотъемлемой частью технологии.

На приемном конце все блоки приведенной выше схемы инвертируются (вместо ЦАП ставится АЦП, вместо обратного БПФ – прямое БПФ) и ставятся в обратном порядке.

В чем же заключается изюминка OFDM, что обусловило его популярность во всех современных системах связи?

Преимущества OFDM:

- способность противостоять сложным условиям в радиоканале, в первую очередь устранять межсимвольную интерференцию и бороться с узкополосными помехами (как в примере мы потеряли одну из тележек и в последующие моменты времени можем пока сменить данный путь с препятствием на другой);

– высокая спектральная эффективность. Если число поднесущих приближается к бесконечности, OFDM системы показывают почти удвоенную спектральную эффективность в сравнении с традиционными системами с частотным разделением каналов;

– адаптивность метода – возможность использования различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала;

– простая реализация методами цифровой обработки (стала простой с развитием мощности вычислительных устройств);

– способность противостоять интерференции между поднесущими, что обуславливает хорошие показатели при многолучевом распространении.

Недостатки OFDM:

– требуется высокоточная синхронизация по времени и по частоте;

– OFDM сигнал имеет относительно высокое значение пик-фактора, что приводит к чрезмерным энергетическим затратам;

– использование защитных интервалов снижает спектральную эффективность метода;

– метод чувствителен к эффекту Доплера, что накладывает дополнительные трудности при его применении в мобильных сетях.

Текущее применение OFDM.

На сегодняшний день наиболее известно применение OFDM-модуляции в беспроводных системах связи Wi-Fi, WiMax, LTE, в наземных системах цифрового телевидения DVB-T, в системах кабельного телевидения DVB-C, в технологии ADSL – и это далеко не все примеры.

### ***Принцип передачи данных в технологии ADSL***

Технология ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) (асимметричная цифровая абонентская линия) была разработана для обеспечения высокоскоростного (мегабитного) доступа к интерактивным видеослужбам (видео по запросу, видеоигры и т. п.) и не менее быстрой передачи данных (доступ в интернет, удаленный доступ к ЛВС и другим сетям).

Прежде всего, ADSL является технологией, позволяющей превратить витую пару телефонных проводов в тракт высокоскоростной

передачи данных. Линия ADSL соединяет два модема ADSL, которые подключены к каждому концу витой пары телефонного кабеля.

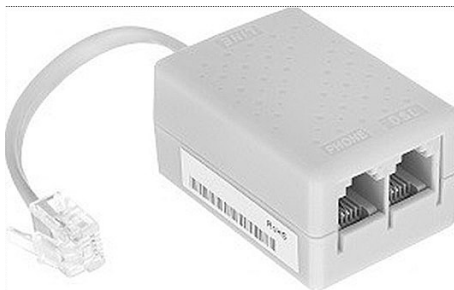
При этом организуются три информационных канала – «нисходящий» поток передачи данных, «восходящий» поток передачи данных и канал обычной телефонной связи (POTS). Канал телефонной связи выделяется с помощью фильтров, что гарантирует работу телефона даже при аварии соединения ADSL.

Идея достаточно простая, во времена, когда Интернет резко пришел в Россию и другие страны СНГ, не было подходящих проводов, которые могли передавать информацию отдаленному абоненту, поэтому использовались провода, состоящие из двух жил (рис. 1.32).



*Рис. 1.32.* Телефонный кабель DSL

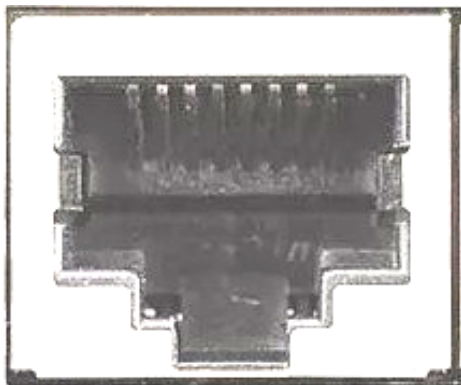
Телефонный кабель получил широкое применение в сетевых технологиях и был проложен почти в каждый дом и квартиру. Именно поэтому начали использовать его в качестве подключения к сети Интернет. При этом если использовать сплиттер, то можно одновременно разговаривать по телефону и иметь доступ к сети Интернет. Сплиттер – по сути, разделяет сигнал на голосовой и интернет (рис. 1.33).



*Рис. 1.33.* Сплиттер

Но тут появляются сразу две проблемы:

Первая – если вы видели, то у компьютера вход имеет совсем другое подключение, и телефонный кабель туда не воткнуть. Выглядит он как на картинке ниже и может иметь от 4 до 8 жил (рис. 1.34).



*Рис. 1.34.* Компьютерный порт

Телефонный DSL-порт может иметь от 2 до 4 жил (рис. 1.35).

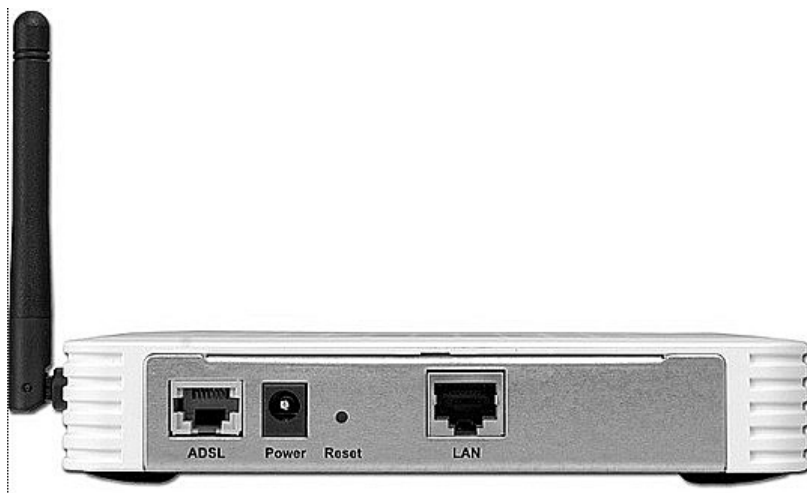


*Рис. 1.35.* Телефонный порт

Вторая проблема в том, что компьютер не понимает сигнал, который передается по телефонной линии, а, насколько мы помним, этот сигнал передается аналоговым путем с помощью тока. Компьютер

или ноутбук может понимать только информацию в виде нулей (0) и единиц (1).

Вот для таких целей и используется DSL-модем. Он выступает «переводчиком», который переводит непонятный волнообразный аналоговый сигнал в понятный для компьютера цифровой сигнал из нулей и единиц (рис. 1.36).



*Рис. 1.36. ADSL-модем*

В итоге у нас появляется вот такая схема подключения (рис. 1.37):

1. Основное подключение идет от телефонной линии, которую проводит провайдер.

2. Далее кабель идет в сплиттер, который разделяет сигнал на телефон и интернет.

3. От сплиттера идет подключение к aDSL-модему в специальный порт.

4. И уже от модема подключается компьютер.

Если в квартире или доме живет большая семья, то можно подключить модем не к «компу», а к роутеру, который сможет раздавать интернет сразу на несколько устройств. При этом подключить устройства можно как по кабелю, так и по Wi-Fi. Еще один вариант схемы подключения с ADSL-модемом (рис. 1.38).



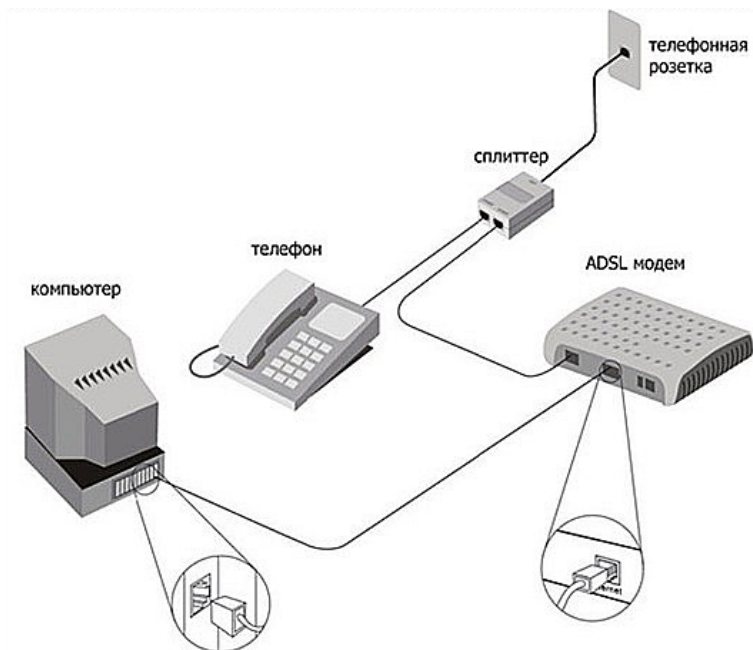


Рис. 1.37. Схема подключения с ADSL-модемом

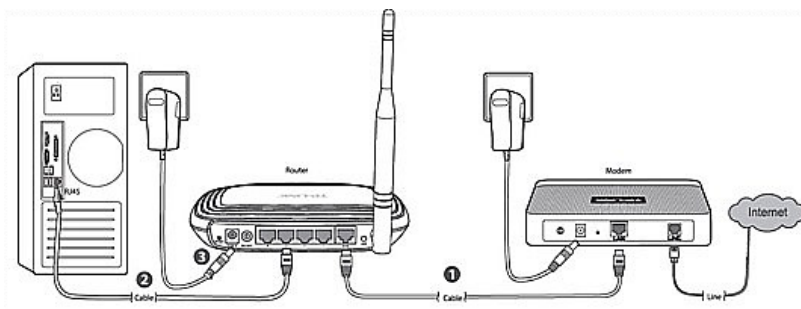


Рис. 1.38. Схема подключения с ADSL-модемом

Ранее DSL-технология была очень популярна, но с течением времени ее заменило оптоволокну. Оптоволокну – это специальный оптический кабель, чаще делается из стекла, по нему информация передается с помощью света. В домах редко когда оптику тянут сразу до квартиры, обычно она доходит только до дома.

Далее «световой провод» подключается к специальному оборудованию провайдера и потом до каждой квартиры подключение идет с помощью стандартного сетевого кабеля (витая пара). Этим кабелем как раз и идет подключение от модема до компьютера. Оптические линии позволяют передавать куда больше информации на большее расстояние.

В итоге сейчас провайдеры работают в основном с оптикой. Но и про DSL не забывают, так как в некоторых отдаленных местах или загородных домах, деревнях, селах пока еще есть только одна возможность подключения к интернету – это телефонный кабель. Хотя развитие 3G/4G/5G интернета может привести к исчезновению данной технологии.

### **Виды DSL**

Общее название, которое имеет всего три буквы: DSL, что обозначает Digital Subscriber Line (Цифровая Абонентская Линия). Приставка «а», обозначает сокращение от слова Asymmetric (Ассиметричная). Ассиметричные цифровые абонентские линии или aDSL – это технология передачи данных по телефонным линиям, при которой входящий прием данных имеет скорость выше, чем передачу.

Более новая технология – это aDSL2. Ее принцип в том, чтобы использовать канал передачи, если он не используется для приема. Таким образом можно добиться большей скорости – до 12 Мбит в секунду.

Есть ещё aDSL2+, которая позволяет использовать более высокую частоту сигнала, и в результате скорость вырастает до 24 Мбит в секунду. Но, как мы помним из школьного курса физики – чем больше частота волны, тем быстрее она затухает – поэтому расстояние, на которое можно передать сигнал, падает до 3 км.

Есть также SHDSL – это симметричный стандарт, когда скорость приема и передачи имеет одно и то же значение – 2,3 Мбит в секунду. Используется он достаточно редко. Максимальную скорость передачи в 52 Мбит в секунду, но при этом самое маленькое расстояние подключения (1,2 км) – имеет технология VDSL.

### **Преимущества и недостатки aDSL**

Единственный плюс данной технологии перед современным оптоволоконном в том, что телефонные линии есть почти в каждом доме и квартире. Также их проще прокидывать в труднодоступных местах: загородных домах, частных предприятиях, в деревнях и селах.

В остальном, технология проигрывает перед оптикой за счет сильного воздействия окружающей среды, имеет высокую задержку и низкую скорость передачи данных. Поэтому если другого доступа в интернет нет, то можно подключать DSL. В остальных случаях обычно используют 4G/5G, спутниковый или оптоволоконный интернет.

### 1.3. Среда передачи данных. Стандартные интерфейсы и протоколы

При построении сети необходимо, прежде всего, определить, при помощи какого носителя следует передавать связные сигналы, которые принято называть слаботочными.

Под средой передачи данных понимают физическую субстанцию, по которой происходит передача электрических сигналов, использующихся для переноса той или иной информации, представленной в цифровой форме (рис. 1.39).



Рис. 1.39. Состав линии связи

Физическая среда передачи данных (medium) может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек и соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на следующие (рис. 1.40):

- проводные (воздушные);

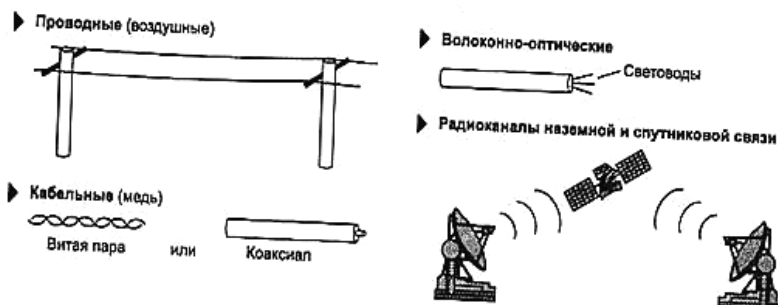


Рис. 1.40. Типы линий связи

- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

Среда передачи данных может быть естественной и искусственной. Естественная среда – это существующая в природе среда; чаще всего естественной средой для передачи сигналов является атмосфера Земли, но возможно также использование других сред – безвоздушного пространства, воды, грунта, корабельного корпуса и т. д. Соответственно под искусственными понимают среды, которые были специально изготовлены для использования в качестве среды передачи данных. Представителями искусственной среды являются, например, электрические и оптоволоконные (оптические) кабели.

Будем рассматривать среды передачи данных согласно их распространённости, поэтому начнем со сред передачи данных, которые мы решили называть искусственными.

### ***Искусственные среды. Классификация и применение***

Типичными и наиболее распространёнными представителями искусственной среды передачи данных являются кабели. При создании сети передачи данных выбор осуществляется из следующих основных видов кабелей: волоконно-оптический (fiber), коаксиал (coaxial) и витая пара (twisted pair). При этом и коаксиал (коаксиальный кабель), и витая пара для передачи сигналов используют металлический проводник, а волоконно-оптический кабель – световод, сделанный из стекла или пластмассы.

*Справедливости ради следует отметить, что, помимо оптических волокон, для передачи слабых сигналов в электронике*

*применяют углеродные волокна (carbon fibers). Такая «экзотическая» среда применяется, в частности, для соединения усилителей мощности с акустическими колонками класса high-end (считается, что электрический сигнал, передаваемый по такому «акустическому» кабелю, испытывает меньшее рассеяние, чем в металлическом кабеле). В такой аппаратуре применяют также кабели из серебра, что обеспечивает получение так называемого «серебряного» звучания.*

Прежде чем в 1992 году были одобрены стандарты на сеть Ethernet в части установки неэкранированной витой пары, в большинстве локальных сетей использовался коаксиальный кабель. Но в последующих инсталляциях, в основном, использовали более гибкую и менее дорогостоящую среду – неэкранированную витую пару. Кроме того, все большее распространение получает волоконно-оптический кабель за счет своих лучших характеристик по сравнению с электрическими кабелями. Однако волоконно-оптический кабель обладает существенным недостатком – высокой стоимостью, поэтому он чаще всего используется в магистральной сети, а до рабочих мест протягивается пока еще относительно редко. (Кстати, волоконно-оптические кабели также широко используются для соединения проигрывателей с усилителями в аудиоаппаратуре класса high-end).

При выборе кабеля, особенно электрического, возникает противоречие между достижением высокой скорости передачи и покрытием большого расстояния. Дело в том, что можно увеличить скорость передачи данных, но это уменьшает расстояние, на которое данные могут перемещаться без восстановления (регенерации). В таких ситуациях могут помочь устройства, осуществляющие регенерацию сигналов, в частности, повторители и усилители. Однако при этом некоторые ограничения накладывают физические свойства кабеля. Так, электрические кабели обладают характеристикой, считающейся косвенной, – импедансом (чем выше импеданс, тем выше сопротивление), которая может стать источником осложнений при попытке соединить два кабеля с различным импедансом.

### **Коаксиальный кабель**

Коаксиальный кабель (coaxial), или коаксиал имеет длинную историю. Если в вашем доме есть кабельное телевидение, то вы имеете коаксиальный кабель. Кабельное телевидение использует те же

самые принципы, что и широкополосная передача, применяемая в сетях передачи данных. Широкополосная сеть и кабельное телевидение используют важное достоинство коаксиального кабеля – его способность передавать в один и тот же момент множество сигналов. Каждый такой сигнал называется каналом. Все каналы организуются на разных частотах, поэтому они не мешают друг другу.

Коаксиальный кабель обладает широкой полосой пропускания. Это означает, что в ней можно организовать передачу трафика на высоких скоростях. Он также устойчив к электромагнитным помехам (по сравнению с витой парой) и способен передавать сигналы на большое расстояние. Кроме того, с технологией передачи сигналов по коаксиальному кабелю хорошо освоились многие поставщики и инсталляторы, как кабельных систем, так и различных сетей передачи данных.

Коаксиальный кабель состоит из четырех частей (рис. 1.41). Внутри кабеля размещена центральная жила (проводник, сигнальный провод, линия, носитель сигнала, внутренний проводник), окруженная изоляционным материалом (диэлектриком). Указанный слой изоляции охвачен тонким металлическим экраном. Ось металлического экрана совпадает с осью внутреннего проводника – отсюда и следует название «коаксиал». И, наконец, внешней частью кабеля является пластиковая оболочка.



Рис. 1.41. Структура коаксиального кабеля

Центральная жила может состоять из одного сплошного проводника (одножильный) или нескольких, являющихся одним проводником (многожильный). Она обычно выполнена из меди, медного сплава с оловом или серебром; алюминия или стали с медным покрытием. Диэлектрик – полиэтилен или тефлон с воздушной прослойкой или без нее. Экран может быть выполнен в виде фольги

или оплетки. Внешняя оболочка изготавливается из поливинилхлорида или полиэтилена (pnrplenu), тефлона или кинара (plenu).

Внешний экран может быть выполнен из фольги, оплетки или из их комбинаций. Возможна также многослойная (например, четырехслойная) защита.

Существует несколько размеров коаксиального кабеля. Различают толстый (диаметром 0,5 дюйма) и тонкий (диаметром 0,25 дюйма) коаксиальные кабели. Толстый коаксиальный кабель более крепкий, стойкий к повреждению и может передавать данные на более длинные расстояния, но недостатком такого кабеля является сложность его подсоединения.

Существует большое количество типов коаксиальных кабелей, используемых в сетях различного типа – телефонных, телевизионных и компьютерных. Ниже приводятся основные типы и характеристики этих кабелей:

– RG-8 и RG-11 – «толстый» коаксиальный кабель, разработанный для сетей Ethernet 10Base-5. Имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр 0,5 дюйма (около 12 мм). Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц – не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать – он плохо гнется.

– RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U – разновидности «тонкого» коаксиального кабеля для сетей Ethernet 10Base-2. Кабель RG-58/U имеет сплошной внутренний проводник, а кабель RG-58 A/U – многожильный. Кабель RG-58 C/U проходит «военную приемку». Все эти разновидности кабеля имеют волновое сопротивление 50 Ом, но обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем. Тонкий внутренний проводник 0,89 мм не так прочен, зато обладает гораздо большей гибкостью, что удобно при монтаже. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте. Для соединения кабелей с оборудованием используется разъем типа BNC:

– RG-59 – телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Широко применяется в кабельном телевидении.

– RG-62 – кабель с волновым сопротивлением 93 Ом, использовался в сетях ArcNet, оборудование которых сегодня практически не выпускается.

Коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 50 Ом («тонкий» и «толстый») описаны в стандарте EIA/TIA-568. Новый стандарт EIA/TIA-568А коаксиальные кабели не описывает, как морально устаревшие, для кабельной системы зданий.

### **Витая пара**

Витая пара (TP – twisted pair) – кабель, в котором изолированная пара проводников скручена с небольшим числом витков на единицу длины. Скручивание осуществляется для уменьшения внешних наводок (наводок от внешних источников) и перекрестных наводок (наводок от одного проводника другому проводнику из одной и той же пары). Часто кабель на витой паре (точнее, на нескольких, как правило, 4 витых парах) называют просто витая пара, хотя, конечно, это – профессиональный сленг. Заметим попутно, что витая пара была изобретена Александром Беллом в 1981 году.

В последние несколько лет производители витой пары научились передавать данные по своим кабелям с высокими скоростями и на большие расстояния. Некоторые из первых локальных сетей на персональных компьютерах, например, Omnet или 10Net, использовали витую пару, но могли передавать данные только со скоростью 1 Мбит/с. В 1984 году, когда была представлена сеть Token Ring, она обладала способностью пересылать данные со скоростью 4 Мбит/с по экранированной витой паре. А в 1987 году отдельные производители заявили, что сеть Ethernet может пересылать данные по неэкранированной витой паре, но компьютеры должны быть размещены на расстоянии, равном приблизительно 300 футов, а не 2000 футов, как было разрешено для соединения с помощью толстого коаксиального кабеля. Современные достижения сделали возможной передачу данных по кабелю на витой паре со скоростью 1 Гбит/с (по 250 Мбит/с в каждой из 4 пар).

По сравнению с волоконно-оптическими и коаксиальными кабелями использование витой пары обладает рядом существенных преимуществ. Такой кабель более тонкий, более гибкий и его проще устанавливать. Он также недорог. И вследствие этого витая пара является идеальным средством передачи данных для офисов или рабочих групп, где нет электромагнитных помех.



Однако витая пара обладает следующими недостатками: сильное воздействие внешних электромагнитных наводок, возможность утечки информации и сильное затухание сигналов. Кроме того, проводники витой пары подвержены поверхностному эффекту – при высокой частоте тока, электрический ток вытесняется из центра проводника, что приводит к уменьшению полезной площади проводника и дополнительному ослаблению сигнала.

Несмотря на то, что существует несколько типов витой пары, экранированная (STP – shielded twisted pair) и неэкранированная (UTP – unshielded twisted pair) являются самыми важными (рис. 1.42). При этом кабель UTP не содержит никаких экранов, а кабель STP может иметь экран вокруг каждой витой пары и, в дополнение к этому, еще один экран, охватывающий все витые пары (кабель S-STP). Применение экрана позволяет повысить помехоустойчивость.



Рис. 1.42. Структура кабеля на витой паре

Материалы, используемые при изготовлении витой пары, аналогичны материалам, используемым при изготовлении коаксиального кабеля.

Стандарты TIA/EIA-568, 568A определяют категории для витой пары. Существуют 7 таких категорий. Самая младшая (категория 1) соответствует аналоговому телефонному каналу, а старшая (категория 1) характеризуется максимальной частотой сигнала в 600 МГц, при этом категории 1...3 выполняются на UTP, а 4...7 – UTP и STP.

Многие специалисты высказывают сомнения по поводу целесообразности введения 7 категории, так как стоимость кабеля, соответствующего данной категории, приравнивается к стоимости волоконно-оптических кабелей, в то время как ведутся работы по созданию более дешевых волоконно-оптических кабелей.

Медный неэкранированный кабель УТР в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на категории (Category 1 – Category 7). Кабели категорий 1 и 2 были определены в стандарте EIA/TIA-568, но в стандарт 568А уже не вошли как устаревшие. В стандарте 568А термин «категория» применяется как для компонентов кабельной системы – кабелей и разъемов, так и для линий и каналов. В международном стандарте 11801 термин «категория» употребляется только для компонентов, а линии и каналы, собранные из компонентов соответствующей категории, делятся на классы. Далее используется общий термин «категория» для обозначения соответствующего компонента – кабеля.

Кабели категории 1 применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 кбит/с) передачи данных. До 1983 года это был основной тип кабеля для телефонной разводки.

Кабели категории 2 были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории – способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.

Кабели категории 3 были стандартизованы в 1991 году, когда был разработан стандарт телекоммуникационных кабельных систем для коммерческих зданий (EIA-568), на основе которого затем был создан действующий стандарт EIA-568А. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей категории 3 для частот в диапазоне до 16 МГц, поддерживающих таким образом высокоскоростные сетевые приложения. Кабель категории 3 предназначен как для передачи данных, так и для передачи голоса. Шаг скрутки проводов равен примерно три витка на один фут (30,5 см). Кабели категории 3 сейчас составляют основу многих кабельных систем зданий, в которых они используются для передачи и голоса, и данных.

Кабели категории 4 представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную помехоустойчивость и низкие потери сигнала. Кабели категории 4 хорошо подходят для применения в системах с увеличенными расстояниями (до 135 м) и в сетях Token Ring с пропускной способностью 16 Мбит/с. На практике используются редко.

Кабели категории 5 были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Поэтому их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство новых высокоскоростных стандартов ориентируются на использование витой пары категории 5. На этом кабеле работают протоколы со скоростью передачи данных 100 Мбит/с – FDDI (с физическим стандартом TP-PMD), Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, а также более скоростные протоколы – ATM на скорости 155 Мбит/с и Gigabit Ethernet на скорости 1000 Мбит/с (вариант Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 стал стандартом в июне 1999 года). Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3, и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с волоконно-оптическим).

Существует так называемая «улучшенная» (enhanced) категория 5e, разработанная специально для поддержки протокола Gigabit Ethernet, передающего данные одновременно по всем четырем парам. Эта категория отличается несколько более жесткими требованиями к затуханию на дальнем конце, а также к некоторым другим параметрам. Однако диапазон частот, для которого предназначены кабели категории 5e, остается тем же, что и для категории 5 – до 100 МГц.

Все кабели UTP независимо от их категории выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары предназначены для передачи данных, а две – для передачи голоса.

Для соединения кабелей с оборудованием используются вилки и розетки RJ-45, представляющие собой 8-контактные разъемы, похожие на обычные телефонные разъемы RJ-11.

Особое место занимают кабели категорий 6 и 7, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 250 МГц, а для кабелей категории 7 – до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей – поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5. Некоторые специалисты сомневаются в необходимости применения кабелей категории 7, так как стоимость кабельной системы при их использовании получается

соизмеримой со стоимостью сети на волоконно-оптических кабелях, характеристики которых лучше.

Кабели категорий 6 и 7 стандартизованы во втором издании спецификации ISO 11801, которое вступило в силу с третьего квартала 2002 года. В новой версии американского стандарта 568-B вводятся только кабели категории 6.

### **Кабели на основе экранированной витой пары**

Экранированная витая пара STP хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитные колебания вовне, что, в свою очередь, защищает пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, так как требует качественного заземления. Экранированный кабель применяется только для передачи данных, голос по нему не передают.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type 1, Type 2, ..., Type 9.

Основным типом экранированного кабеля является кабель Type 1 стандарта IBM. Он состоит из двух пар скрученных проводов, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Электрические параметры кабеля Type 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля Type 1 равно 150 Ом (UTP категории 5 имеет волновое сопротивление 100 Ом), поэтому простое «улучшение» кабельной проводки сети путем замены неэкранированной пары UTP на STP Type 1 невозможно. Трансиверы, рассчитанные на работу с кабелем, имеющим волновое сопротивление 100 Ом, будут плохо работать на волновое сопротивление 150 Ом. Поэтому при использовании STP Type 1 необходимы соответствующие трансиверы. Такие трансиверы имеются в сетевых адаптерах Token Ring, так как эти сети разрабатывались для работы на экранированной витой паре.

Некоторые другие стандарты также поддерживают кабель STP Type 1, например 100VG-AnyLAN, а также Fast Ethernet (хотя основным типом кабеля для Fast Ethernet является UTP категории 5). В случае если технология может использовать и UTP, и STP, нужно убедиться, что приобретаемые трансиверы соответствуют имеющемуся типу кабеля. Сегодня кабель STP Type 1 включен в стандарты

EIA/TIA-568A, ISO 11801 и EN50173, то есть приобрел международный статус.

Экранированные витые пары используются также в кабеле IBM Type 2, который представляет собой кабель Type 1 с добавленными двумя парами неэкранированного провода для передачи голоса.

Для присоединения экранированных кабелей к оборудованию используются разъемы конструкции IBM.

Не все типы кабелей стандарта IBM относятся к экранированным кабелям – некоторые определяют характеристики неэкранированного телефонного кабеля (Type 3) и оптоволоконного кабеля (Type 5).

### **Волоконно-оптический кабель**

Волоконно-оптический кабель (fiber-optic cable) был разрекламирован как решение всех проблем, порождаемых медным кабелем. Такой кабель имеет огромную ширину полосы пропускания и может пересылать голосовые сигналы, видеосигналы и сигналы данных на очень большие расстояния. В связи с тем, что волоконно-оптический кабель для передачи данных использует световые импульсы, а не электричество, он оказывается невосприимчивым к электромагнитным помехам. Отличительной особенностью волоконно-оптического кабеля является также то, что он обеспечивает более высокую безопасность информации, чем медный кабель. Это связано с тем, что нарушитель не может подслушивать сигналы, а должен физически подключиться к линии связи. Для того чтобы добраться до информации, передаваемой по такому кабелю, должно быть подсоединено соответствующее устройство, а это, в свою очередь, приведет к уменьшению интенсивности светового излучения. К недостаткам волоконно-оптического кабеля следует отнести высокую стоимость и меньшее число возможных перекоммутаций по сравнению с электрическими кабелями, так как во время перекоммутаций появляются микротрещины в месте коммутации, что ведет к ухудшению качества оптоволоконка.

По своей структуре волоконно-оптический кабель подобен коаксиальному кабелю. Однако вместо центральной жилы в его центре располагается стержень, или сердцевина, которая окружена не диэлектриком, а оптической оболочкой, которая, в свою очередь, окружена буферным слоем (слоем лака), элементов усиления и внешнего покрытия. Стержень и оболочка изготавливаются как одно целое. Диаметр стержня составляет от 2 до нескольких сотен

микрометров. Толщина оболочки – от сотен микрометров до единиц миллиметров. Буферный слой может быть свободным (жесткая пластиковая трубка) или плотно прилегающим. Свободный защищает от механических повреждений и температуры, прилегающий – только от механических повреждений. Элементы усиления выполняются из стали, кевлара и т. д., однако могут иметь отрицательный эффект, например, элементы из стали могут притягивать разряды молний. Волоконно-оптический кабель с элементами усиления называется кабелем с усиленной конфигурацией. В кабеле облегченной конфигурации пространство между внешней оболочкой и буферным слоем заполнено жидким гелием. Внешнее покрытие изготавливается аналогично покрытию электрических кабелей.

Волоконно-оптические кабели состоят из центрального проводника света (сердцевины) – стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла – оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки (рис. 1.43).

Волоконно-оптический кабель бывает одномодовым и многомодовым. Одномодовый кабель имеет меньший диаметр световода (5–10 мкм) и допускает только прямолинейное распространение светового излучения (по центральной моде). В стержне многомодового кабеля свет может распространяться не только прямолинейно (по нескольким модам). Чем больше мод, тем уже пропускная способность кабеля. Так, на 100 м максимальная частота сигнала на длине волны 850 нм для многомодового составляет 1600 МГц, для одномодового – 888 ГГц. Стержень и оболочка многомодового кабеля могут быть изготовлены из стекла или пластика, в то время как у одномодового – только из стекла. Для одномодового кабеля источником света является лазер, для многомодового – светодиод.

Для многомодового кабеля характерны следующие помехи: модальная дисперсия и хроматическая дисперсия. Модальная дисперсия заключается в том, что на большом расстоянии начинает сказываться многомодовость кабеля – световой импульс, идущий по самой длинной моде (неаксиальный луч) начинает «отставать» от импульса, идущего по центральной моде (аксиальный луч). В результате этого промежуток между импульсами должен быть больше, чем разница между аксиальным и неаксиальным лучами. Хроматическую

дисперсию по-другому можно назвать «эффектом радуги» – когда световой сигнал разделяется на световые компоненты, а так как волны света различной длины пропускаются световодом по-разному, то на больших расстояниях хроматическая дисперсия может привести к потере передаваемых данных – световые компоненты одного сигнала будут накладываться на световые компоненты другого.

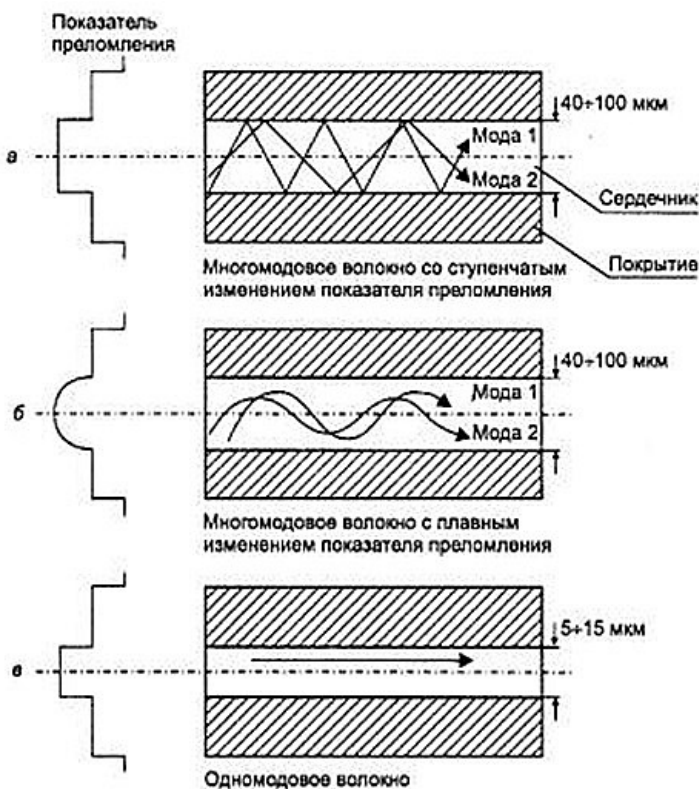


Рис. 1.43. Распространение сигнала внутри волоконно-оптического кабеля

Многомодовый волоконно-оптический кабель может быть со ступенчатым или плавным отражением сигнала. Кабель с плавным отражением сигнала имеет многослойную оболочку с разными коэффициентами отражения у каждого слоя, и лучшие характеристики по сравнению с кабелем со ступенчатым отражением сигнала.

Одномодовый кабель обладает наилучшими характеристиками, но и является самым дорогим. Многомодовый кабель из пластика является самым дешевым, но обладает самыми худшими характеристиками.

### ***Естественные среды***

Рассматривая естественные среды передачи данных, сделаем следующие допущения:

1) так как наиболее используемой естественной средой является атмосфера (в основном, нижний слой – тропосфера), а различные сигналы распространяются в атмосфере по-разному, то при рассмотрении данной среды различные виды сигналов будем рассматривать отдельно;

2) поскольку при спутниковой связи безвоздушная среда не накладывает каких-либо ограничений на проходящий через нее сигнал, а основные трудности сигнал спутниковой связи испытывает при прохождении атмосферы, отдельно рассматривать безвоздушную среду не будем.

### **Атмосфера**

Наибольшее распространение в качестве носителей данных в атмосфере получили электромагнитные волны. Здесь следует заметить, что от длины волны зависит характер распространения электромагнитных волн в атмосфере. Спектр электромагнитного излучения делится на радиоизлучение, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение, гамма-излучение. В настоящее время в связи с техническими трудностями ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение не используются. Используемые радиоволны, в свою очередь, зависят от длины волны. Они делятся на (приведем отечественную классификацию): сверхдлинные (декакилометровые), длинные (километровые), средние (гектаметровые), короткие (декаметровые), метровые, дециметровые, сантиметровые, миллиметровые, субмиллиметровые. Последние пять диапазонов принято также называть ультракороткими волнами. Кроме того, в последнее три диапазона входит СВЧ-излучение (а по некоторым источникам – и часть дециметрового диапазона 0,3...0,1 м).

### **Радиоволны**

Волны, имеющую длину больше, чем у ультракоротковолновых, не представляют большого интереса для сети передачи данных



из-за низкой потенциальной скорости передачи данных. Поэтому рассматривать их не будем.

В сетях передачи данных нашли применение радиоволны УКВ-диапазона, которые распространяются прямолинейно и не отражаются ионосферой (как КВ), и не огибают встречающиеся препятствия (как ДВ или СВ). Поэтому связь в сетях передачи данных, построенных на УКВ-радиосредствах, ограничена по расстоянию (до 40 км). Для преодоления этого ограничения обычно используют ретрансляторы.

Разработчику радиосети приходится, в первую очередь, заниматься юридическими проблемами. Это объясняется тем, что любая передающая радиостанция, превышающая ограничение на выходную мощность, подлежит лицензированию. Национальными комитетами по лицензированию (или государственными органами, занимающимися лицензированием), как правило, выделяются частоты, не подлежащие лицензированию (в США комитетом FCC определены три таких диапазона: 902...928 МГц, 2,4...2,5 ГГц и 5,8...5,9 ГГц, в Европейском сообществе ETSI определен диапазон, утвержденный директивой ЕС 1.88...1.90 ГГц). Однако в этом случае на передающее устройство накладывается ограничение по мощности (для США – 1 Вт).

Сети передачи данных бывают узкополосными (как правило, одночастотные) и широкополосными (широкополосные, как правило, организуются на нелицензируемых частотах). Широкополосные сети могут использовать либо метод множественного доступа с кодовым уплотнением каналов и модуляцией несущей прямой последовательностью (DS-CDMA, DFM), либо метод множественного доступа с кодовым уплотнением каналов за счет скачкообразного изменения частоты (FH-CDMA, FHM).

Стоит добавить, что при использовании радиоволн с миллиметровыми длинами волны и менее придется столкнуться с тем, что качество радиосвязи будет зависеть от состояния атмосферы (туман, дым и т. д.).

Разновидностью радиосвязи можно считать спутниковую связь, отличием от наземной радиосвязи будет являться только то, что вместо наземного ретранслятора используется спутник-ретранслятор, находящийся на геостационарной орбите. При использовании спутника-ретранслятора снимается ограничение по расстоянию, но возникают

задержки между приемом и передачей сигнала – задержки распространения, которые могут составить 0.5...5 с.

### **Инфракрасное излучение и видимый свет**

Источником инфракрасного излучения могут служить лазер или фотодиод. В отличие от радиоизлучения инфракрасное излучение не может проникать сквозь стены, и сильный источник света будет являться для них помехой. Кроме того, при организации связи вне помещения на качество канала будет влиять состояние атмосферы. Инфракрасные сети передачи данных могут использовать прямое или рассеянное инфракрасное излучение. Сети, использующие прямое излучение, могут быть организованы по схеме «точка-точка» или через отражатель, закрепляющийся, как правило, на потолке. Организация сетей, использующих прямое излучение, требует очень точного наведения, особенно если в качестве источников наведения используются лазеры. Используемые частоты излучения 100...1000 ГГц, пропускная способность от 100 Кбит/с до 16 Мбит/с. Сети, использующие рассеянное излучение, не предъявляют требования к точной настройке, более того, позволяют абоненту перемещаться, но обладают меньшей пропускной способностью – не более 1 Мбит/с.

Использование в сетях передачи данных источника видимого света более проблематично, так как использующийся источник видимого света (лазер) может нанести травму человеку (ожог глаз). Поэтому при организации сетей, использующих видимый свет, следует также решать проблемы исключения случайной травмы пользователя сети, обслуживающего персонала или случайных людей.

### **Основные понятия**

Среда передачи данных – физическая среда, по которой происходит передача сигналов, использующихся для представления информации.

Радиоволны – электромагнитные волны с частотой меньше 6000 ГГц (с длиной волны больше 100 мкм).

Коаксиальный (coaxial) кабель (от co – совместно и axis – ось) представляет собой два соосных гибких металлических проводника, разделенных диэлектриком.

Витая пара – (twisted pair, TP) – кабель, в котором изолированная пара проводников скручена с небольшим числом витков

на единицу длины. Существуют: экранированная (shielded twisted pair, STP) и неэкранированная (unshielded twisted pair, UTP) витые пары.

Двужильный или твинаксиальный (twinaxial) кабель – коаксиальный кабель с двумя проводящими жилами, каждая из которых помещена в свой собственный слой диэлектрика.

Триаксиальный (triaxial) кабель отличается от коаксиального тем, что содержит дополнительный медный экранирующий слой, который располагается между обычным экранирующим слоем и внешним покрытием.

Квадраксиальный (quadrax) – кабель, содержащий две жилы подобно твинаксиальному и окруженный подобно триаксиальному дополнительным экранирующим проводящим слоем.

Кабели с четырехслойной защитой (quadshield) – кабели такого типа содержат четыре чередующихся защитных слоя из фольги и металлической оплетки.

Волоконно-оптический кабель (fiber-optic cable) предназначен для организации физической среды передачи световых сигналов.

Мода (mode) – возможный путь распространения световых лучей по оптоволокну.

Одномодовый (single-mode) кабель – волоконно-оптический кабель, имеющий диаметр сечения стержня менее 10 мкм, в результате чего световые лучи внутри него могут распространяться только по одному маршруту.

Многомодовый (multimode) кабель – волоконно-оптический кабель, внутри стержня которого световые лучи могут распространяться по нескольким маршрутам.

Кабель со ступенчатым изменением коэффициента преломления (single-step fiber) – многомодовый волоконно-оптический кабель со скачкообразным коэффициентом преломления между сердечниками и оболочкой.

Кабель с плавным изменением коэффициента (graded-index fiber) – многомодовый волоконно-оптический кабель с плавным изменением коэффициента преломления между сердечниками и оболочкой.

### ***Структурированная кабельная система зданий***

Структурированная кабельная система (Structured Cabling System, SCS) – это набор коммутационных элементов (кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов), а также

методика их совместного использования, которая позволяет создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей в вычислительных сетях.

Структурированная кабельная система представляет своего рода «конструктор», с помощью которого проектировщик сети строит нужную ему конфигурацию из стандартных кабелей, соединенных стандартными разъемами и коммутируемых на стандартных кроссовых панелях. При необходимости конфигурацию связей можно легко изменить – добавить компьютер, сегмент, коммутатор, изъять ненужное оборудование, а также менять соединения между компьютерами и концентраторами.

При построении структурированной кабельной системы подразумевается, что каждое рабочее место на предприятии должно быть оснащено розетками для подключения телефона и компьютера, даже если в данный момент этого не требуется. То есть хорошая структурированная кабельная система строится избыточной. В будущем это может сэкономить средства, так как изменения в подключении новых устройств можно производить за счет перекоммутации уже проложенных кабелей.

Структурированная кабельная система планируется и строится иерархически, с главной магистралью и многочисленными ответвлениями от нее (рис. 1.44).

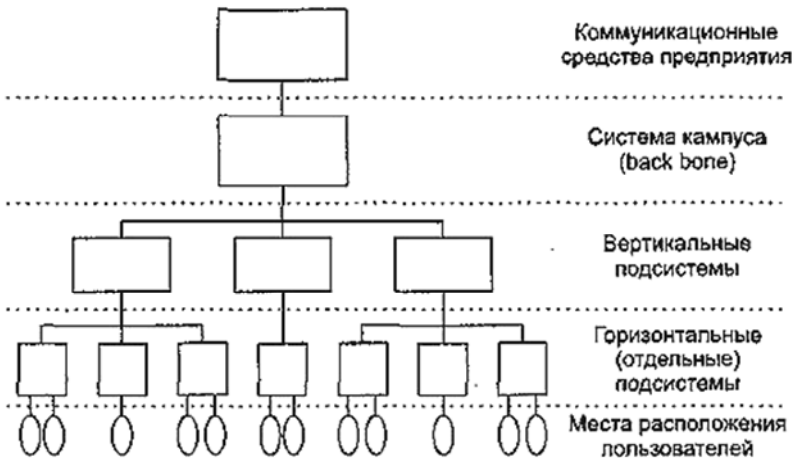


Рис. 1.44. Иерархия структурированной кабельной системы зданий

Эта система может быть построена на базе уже существующих современных телефонных кабельных систем, в которых кабели, представляющие собой набор витых пар, прокладываются в каждом здании, разводятся между этажами, на каждом этаже используется специальный кроссовый шкаф, от которого провода в трубах и коробах подводятся к каждой комнате и разводятся по розеткам.

Типичная иерархия структурированной кабельной системы (рис. 1.45) включает:

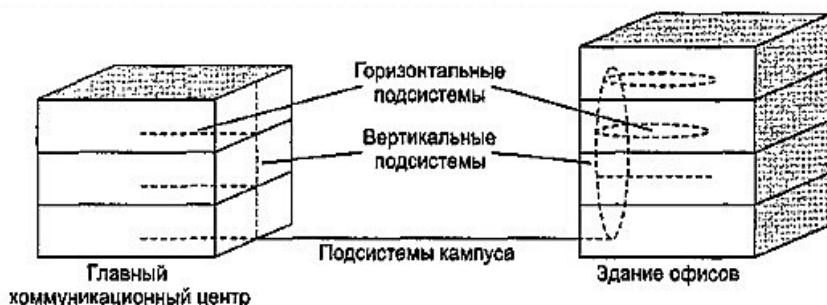


Рис. 1.45. Структура кабельных подсистем зданий

- горизонтальные подсистемы (в пределах этажа);
- вертикальные подсистемы (внутри здания);
- подсистему кампуса (в пределах одной территории с несколькими зданиями).

Горизонтальная подсистема соединяет кроссовый шкаф этажа с розетками пользователей. Подсистемы этого типа соответствуют этажам здания. Вертикальная подсистема соединяет кроссовые шкафы каждого этажа с центральной аппаратной здания. Следующим шагом иерархии является подсистема кампуса, которая соединяет несколько зданий с главной аппаратной всего кампуса. Эта часть кабельной системы обычно называется магистралью (backbone).

Использование структурированной кабельной системы вместо хаотически проложенных кабелей дает предприятию много преимуществ.

**Универсальность.** Структурированная кабельная система при продуманной организации может стать единой средой для передачи

компьютерных данных в локальной вычислительной сети, организации локальной телефонной сети, передачи видеoinформации и даже для передачи сигналов от датчиков пожарной безопасности или охранных систем. Это позволяет автоматизировать многие процессы контроля, мониторинга и управления хозяйственными службами и системами жизнеобеспечения предприятия.

**Увеличение срока службы.** Срок морального старения хорошо структурированной кабельной системы может составлять 10–15 лет.

**Уменьшение стоимости** добавления новых пользователей и изменения их мест размещения. Известно, что стоимость кабельной системы значительна и определяется в основном не стоимостью кабеля, а стоимостью работ по его прокладке. Поэтому выгоднее провести однократную работу по прокладке кабеля, возможно, с большим запасом по длине, чем несколько раз выполнять прокладку, наращивая длину кабеля. При таком подходе все работы по добавлению или перемещению пользователя сводятся к подключению компьютера к уже имеющейся розетке.

**Возможность легкого расширения сети.** Структурированная кабельная система является модульной, поэтому ее легко расширять. Например, к магистрали можно добавить новую подсеть, не оказывая никакого влияния на существующие подсети. Можно заменить в отдельной подсети тип кабеля независимо от остальной части сети. Структурированная кабельная система является основой для деления сети на легко управляемые логические сегменты, так как она сама уже разделена на физические сегменты.

**Более эффективное обслуживание.** Структурированная кабельная система облегчает обслуживание и поиск неисправностей по сравнению с шинной кабельной системой. При шинной организации кабельной системы отказ одного из устройств или соединительных элементов приводит к трудно локализуемому отказу всей сети. В структурированных кабельных системах отказ одного сегмента не действует на другие, так как объединение сегментов осуществляется с помощью концентраторов. Концентраторы диагностируют и локализуют неисправный участок.

**Надежность.** Структурированная кабельная система имеет повышенную надежность, поскольку производитель такой системы гарантирует не только качество ее отдельных компонентов, но и их совместимость.

## 1.4. Эталонная модель взаимодействия открытых систем

Обмен информацией между компьютерами, объединенными в сеть, очень сложная задача. Это связано с тем, что существует много производителей аппаратных и программных средств вычислительных систем. Единственный выход – унифицировать средства сопряжения систем, а именно использовать открытые системы. Открытая система взаимодействует с другими системами на основе единых общедоступных стандартов и спецификаций.

За долгие годы существования компьютерных сетей было создано большое количество различных сетевых протоколов. Сетевой протокол – набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включенными в сеть устройствами. Протоколы бывают как открытые (опубликованные для бесплатного применения), так и закрытые (разработанные коммерческими компаниями и требующими лицензирования для их использования).

В 1984 году Международная организация по стандартизации (ISO) представила индустриальный стандарт – модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection Reference Model – OSI/RM, в советской литературе – ЭМБОС), чтобы помочь поставщикам создавать совместимые сетевые аппаратные и программные средства.

Модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI) определяет различные уровни взаимодействия систем в сетях с коммутацией пакетов, дает им стандартные имена и указывает, какие функции должен выполнять каждый уровень.

Модель OSI была разработана на основании большого опыта, полученного при создании компьютерных сетей, в основном глобальных, в 70-е годы. Полное описание этой модели занимает более 1000 страниц текста.

В модели OSI (рис. 1.46) средства взаимодействия делятся на семь уровней: прикладной, представительный, сеансовый, транспортный, сетевой, канальный и физический. Каждый уровень имеет дело с определенным аспектом взаимодействия сетевых устройств.

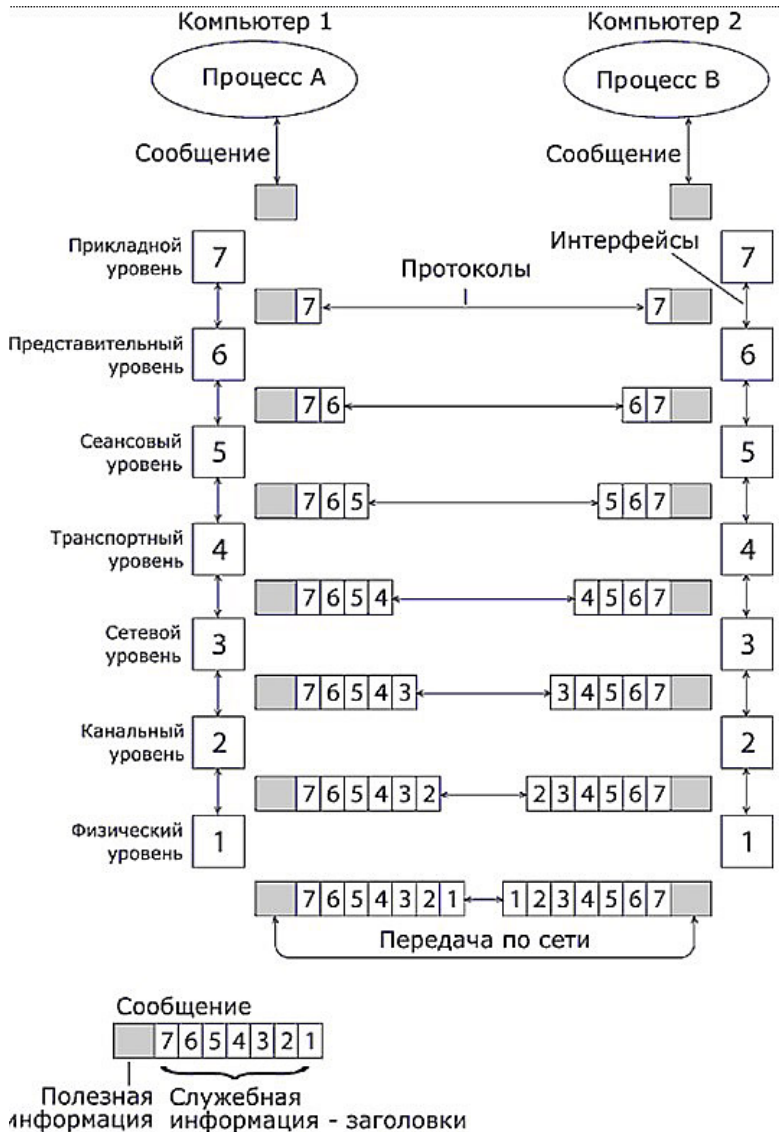


Рис. 1.46. Модель взаимодействия открытых систем ISO/OSI

Модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые операционной системой, системными утилитами



и аппаратными средствами. Модель не включает средства взаимодействия приложений конечных пользователей. Собственные протоколы взаимодействия приложения реализуют, обращаясь к системным средствам. Поэтому необходимо различать уровень взаимодействия приложений и прикладной уровень.

Следует также иметь в виду, что приложение может взять на себя функции некоторых верхних уровней модели OSI. Например, некоторые СУБД имеют встроенные средства удаленного доступа к файлам. В этом случае приложение, выполняя доступ к удаленным ресурсам, не использует системную файловую службу; оно обходит верхние уровни модели OSI и обращается напрямую к системным средствам, ответственным за транспортировку сообщений по сети, которые располагаются на нижних уровнях модели OSI.

Итак, пусть приложение обращается с запросом к прикладному уровню, например, к файловой службе. На основании этого запроса программное обеспечение прикладного уровня формирует сообщение стандартного формата. Обычное сообщение состоит из заголовка и поля данных. Заголовок содержит служебную информацию, которую необходимо передать через сеть прикладному уровню машины-адресата, чтобы сообщить ему, какую работу надо выполнить. В нашем случае заголовок, очевидно, должен содержать информацию о местонахождении файла и о типе операции, которую необходимо выполнить. Поле данных сообщения может быть пустым или содержать какие-либо данные, например, те, которые необходимо записать в удаленный файл. Но для того, чтобы доставить эту информацию по назначению, предстоит решить еще много задач, ответственность за которые несут нижележащие уровни.

После формирования сообщения прикладной уровень направляет его вниз по стеку представителю уровня. Протокол представительного уровня на основании информации, полученной из заголовка прикладного уровня, выполняет требуемые действия и добавляет к сообщению собственную служебную информацию – заголовок представительного уровня, в котором содержатся указания для протокола представительного уровня машины-адресата. Полученное в результате сообщение передается вниз сеансовому уровню, который, в свою очередь, добавляет свой заголовок и т. д. (Некоторые протоколы помещают служебную информацию не только в начале сообщения

в виде заголовка, но и в конце, в виде так называемого «концевика»). Наконец, сообщение достигает нижнего, физического уровня, который, собственно, и передает его по линиям связи машине-адресату. К этому моменту сообщение «обрастает» заголовками всех уровней (рис. 1.47).

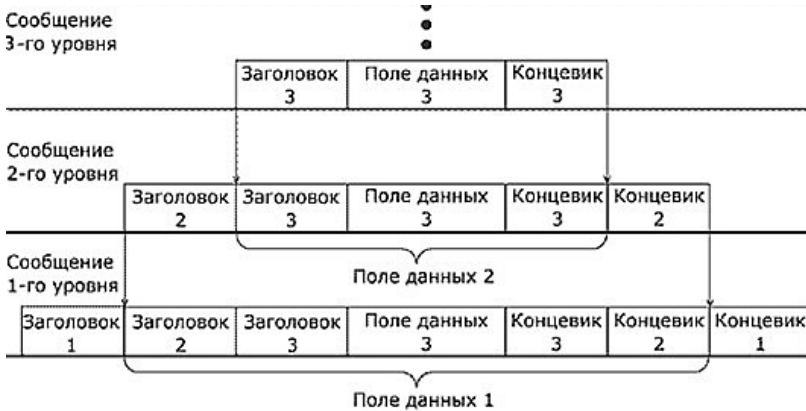


Рис. 1.47. Вложенность сообщений различных уровней

Когда сообщение по сети поступает на машину-адресат, оно принимается ее физическим уровнем и последовательно перемещается вверх с уровня на уровень. Каждый уровень анализирует и обрабатывает заголовок своего уровня, выполняя соответствующие данному уровню функции, а затем удаляет этот заголовок и передает сообщение вышележащему уровню.

Наряду с термином сообщение (message) существуют и другие термины, применяемые сетевыми специалистами для обозначения единиц данных в процедурах обмена. В стандартах ISO для обозначения единиц данных, с которыми имеют дело протоколы разных уровней, используется общее название протокольный блок данных (Protocol Data Unit, PDU). Для обозначения блоков данных определенных уровней часто используются специальные названия: кадр (frame), пакет (packet), дейтаграмма (datagram), сегмент (segment).

### **Физический уровень**

Физический уровень (Physical layer) имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи, таким, как коаксиальный кабель,

витая пара, оптоволоконный кабель или цифровой территориальный канал. К этому уровню имеют отношение характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищенность, волновое сопротивление и др. На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов, передающих дискретную информацию, такую как крутизна фронтов импульсов, уровни напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи сигналов. Кроме того, здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта.

**Физический уровень:**

- передача битов по физическим каналам;
- формирование электрических сигналов;
- кодирование информации;
- синхронизация;
- модуляция.

Реализуется аппаратно.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

Примером протокола физического уровня может служить спецификация 10Base-T технологии Ethernet, которая определяет в качестве используемого кабеля неэкранированную витую пару категории 3 с волновым сопротивлением 100 Ом, разъем RJ-45, максимальную длину физического сегмента 100 метров, манчестерский код для представления данных в кабеле, а также некоторые другие характеристики среды и электрических сигналов.

**Канальный уровень**

На физическом уровне просто пересылаются биты. При этом не учитывается, что в тех сетях, в которых линии связи используются (разделяются) попеременно несколькими парами взаимодействующих компьютеров, физическая среда передачи может быть занята. Поэтому одной из задач канального уровня (Data Link layer) является проверка доступности среды передачи.

Другая задача канального уровня – реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в наборы, называемые кадрами (frames). Канальный

уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра, помещая специальную последовательность бит в начало и конец каждого кадра для его выделения, а также вычисляет контрольную сумму, обрабатывая все байты кадра определенным способом, и добавляет контрольную сумму к кадру. Когда кадр приходит по сети, получатель снова вычисляет контрольную сумму полученных данных и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Если они совпадают, кадр считается правильным и принимается. Если же контрольные суммы не совпадают, то фиксируется ошибка. Канальный уровень может не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их за счет повторной передачи поврежденных кадров. Необходимо отметить, что функция исправления ошибок для канального уровня не является обязательной, поэтому в некоторых протоколах этого уровня она отсутствует, например, в Ethernet и frame relay.

### **Функции канального уровня**

Надежная доставка пакета:

1. Между двумя соседними станциями в сети с произвольной топологией.

2. Между любыми станциями в сети с типовой топологией:

- проверка доступности разделяемой среды;
  - выделение кадров из потока данных, поступающих по сети;
- формирование кадров при отправке данных;
- подсчет и проверка контрольной суммы.

Реализуются программно-аппаратно.

В протоколах канального уровня, используемых в локальных сетях, заложена определенная структура связей между компьютерами и способы их адресации. Хотя канальный уровень и обеспечивает доставку кадра между любыми двумя узлами локальной сети, он это делает только в сети с определенной топологией связей, именно той топологией, для которой он был разработан. К таким типовым топологиям, поддерживаемым протоколами канального уровня локальных сетей, относятся «общая шина», «кольцо» и «звезда», а также структуры, полученные из них с помощью мостов и коммутаторов. Примерами протоколов канального уровня являются протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

В глобальных сетях, которые редко обладают регулярной топологией, канальный уровень часто обеспечивает обмен сообщениями только между двумя соседними компьютерами, соединенными индивидуальной линией связи. Примерами протоколов «точка-точка» (как часто называют такие протоколы) могут служить широко распространенные протоколы PPP и LAP-B. В таких случаях для доставки сообщений между конечными узлами через всю сеть используются средства сетевого уровня. Именно так организованы сети X.25. Иногда в глобальных сетях функции канального уровня в чистом виде выделить трудно, так как в одном и том же протоколе они объединяются с функциями сетевого уровня. Примерами такого подхода могут служить протоколы технологий ATM и frame relay.

В целом канальный уровень представляет собой весьма мощный набор функций по пересылке сообщений между узлами сети. В некоторых случаях протоколы канального уровня оказываются самодостаточными транспортными средствами, и тогда поверх них могут работать непосредственно протоколы прикладного уровня или приложения, без привлечения средств сетевого и транспортного уровней. Например, существует реализация протокола управления сетью SNMP непосредственно поверх Ethernet, хотя стандартно этот протокол работает поверх сетевого протокола IP и транспортного протокола UDP. Естественно, что применение такой реализации будет ограниченным – она не подходит для составных сетей разных технологий, например Ethernet и X.25, и даже для такой сети, в которой во всех сегментах применяется Ethernet, но между сегментами существуют петлевидные связи. А вот в двухсегментной сети Ethernet, объединенной мостом, реализация SNMP над канальным уровнем будет вполне работоспособна.

Тем не менее, для обеспечения качественной транспортировки сообщений в сетях любых топологий и технологий функций канального уровня оказывается недостаточно, поэтому в модели OSI решение этой задачи возлагается на два следующих уровня – сетевой и транспортный.

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией, например в односегментных сетях Ethernet или же в многосегментных сетях Ethernet и Token Ring иерархической топологии, разделенных только мостами и коммутаторами. Во всех этих конфигурациях адрес назначения имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла-источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу. Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий. Если же перечисленные выше условия не соблюдаются, например связи между сегментами Ethernet имеют петлевидную структуру, либо объединяемые сети используют различные способы адресации, как в сетях Ethernet и X.25, то протокол канального уровня не может в одиночку справиться с задачей передачи кадра между узлами и требует помощи протокола сетевого уровня.

### **Сетевой уровень**

Сетевой уровень (Network layer) служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой

связей. Функции сетевого уровня достаточно разнообразны. Рассмотрим их на примере объединения локальных сетей.

Протоколы канального уровня локальных сетей обеспечивают доставку данных между любыми узлами только в сети с соответствующей типовой топологией, например, топологией иерархической звезды. Это жесткое ограничение, которое не позволяет строить сети с развитой структурой, например, сети, объединяющие несколько сетей предприятия в единую сеть, или высоконадежные сети, в которых существуют избыточные связи между узлами. Можно было бы усложнять протоколы канального уровня для поддержания петлевидных избыточных связей, но принцип разделения обязанностей между уровнями приводит к другому решению. Чтобы, с одной стороны, сохранить простоту процедур передачи данных для типовых топологий, а с другой – допустить использование произвольных топологий, вводится дополнительный сетевой уровень.

На сетевом уровне сам термин «сеть» наделяют специфическим значением. В данном случае под сетью понимается совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этой топологии.

Внутри сети доставка данных обеспечивается соответствующим канальным уровнем, а вот доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, который и поддерживает возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда структура связей между составляющими сетями имеет характер, отличный от принятого в протоколах канального уровня.

Сети соединяются между собой специальными устройствами, называемыми маршрутизаторами. Маршрутизатор – это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и пересылает пакеты сетевого уровня в сеть назначения. Чтобы передать сообщение от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или хопов (от слова hop – прыжок), каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, маршрут представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет.

Сетевой уровень – доставка пакета:

– между любыми двумя узлами сети с произвольной топологией;

- между любыми двумя сетями в составной сети;
- сеть – совокупность компьютеров, использующих для обмена данными единую сетевую технологию;
- маршрут – последовательность прохождения пакетом маршрутизаторов в составной сети.

На (рис. 1.48) показаны четыре сети, связанные тремя маршрутизаторами. Между узлами А и В данной сети пролегал два маршрута: первый – через маршрутизаторы 1 и 3, а второй – через маршрутизаторы 1, 2 и 3.

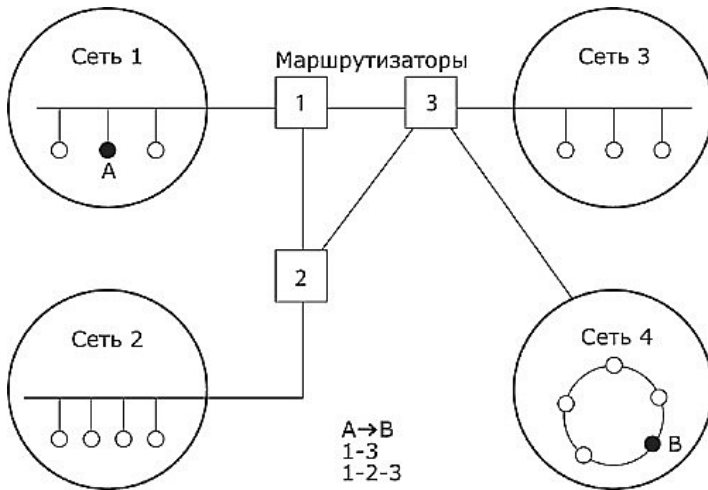


Рис. 1.48. Пример составной сети

Проблема выбора наилучшего пути называется маршрутизацией, и ее решение является одной из главных задач сетевого уровня. Эта проблема осложняется тем, что самый короткий путь – не всегда самый лучший. Часто критерием при выборе маршрута является время передачи данных; оно зависит от пропускной способности каналов связи и интенсивности трафика, которая может с течением времени изменяться. Некоторые алгоритмы маршрутизации пытаются приспособиться к изменению нагрузки, в то время как другие принимают решения на основе средних показателей за длительное время. Выбор маршрута может осуществляться и по другим критериям, таким как надежность передачи.



В общем случае функции сетевого уровня шире, чем функции передачи сообщений по связям с нестандартной структурой, которые мы рассмотрели на примере объединения нескольких локальных сетей. Сетевой уровень также решает задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.

Сообщения сетевого уровня принято называть пакетами (packet). При организации доставки пакетов на сетевом уровне используется понятие «номер сети». В этом случае адрес получателя состоит из старшей части – номера сети и младшей – номера узла в этой сети. Все узлы одной сети должны иметь одну и ту же старшую часть адреса, поэтому термину «сеть» на сетевом уровне можно дать и другое, более формальное, определение: сеть – это совокупность узлов, сетевой адрес которых содержит один и тот же номер сети.

На сетевом уровне определяется два вида протоколов. Первый вид – сетевые протоколы (routed protocols) – реализуют продвижение пакетов через сеть. Именно эти протоколы обычно имеют в виду, когда говорят о протоколах сетевого уровня. Однако часто к сетевому уровню относят и другой вид протоколов, называемых протоколами обмена маршрутной информацией или просто протоколами маршрутизации (routing protocols). С помощью этих протоколов маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений. Протоколы сетевого уровня реализуются программными модулями операционной системы, а также программными и аппаратными средствами маршрутизаторов.

На сетевом уровне работают протоколы еще одного типа, которые отвечают за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне, в локальный адрес сети. Такие протоколы часто называют протоколами разрешения адресов – Address Resolution Protocol, ARP. Иногда их относят не к сетевому уровню, а к канальному, хотя тонкости классификации не изменяют сути.

Примерами протоколов сетевого уровня являются протокол межсетевого взаимодействия IP стека TCP/IP и протокол межсетевого обмена пакетами IPX стека Novell.

### **Транспортный уровень**

На пути от отправителя к получателю пакеты могут быть искажены или утеряны. Хотя некоторые приложения имеют собственные средства обработки ошибок, существуют и такие, которые предпочитают сразу иметь дело с надежным соединением. Транспортный

уровень (Transport layer) обеспечивает приложениям или верхним уровням стека – прикладному и сеансовому – передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем. Эти виды сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, а главное – способностью к обнаружению и исправлению ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов.

Выбор класса сервиса транспортного уровня определяется, с одной стороны, тем, в какой степени задача обеспечения надежности решается самими приложениями и протоколами более высоких, чем транспортный, уровней, а, с другой стороны, зависит от того, насколько надежной является система транспортировки данных в сети, обеспечиваемая уровнями, расположенными ниже транспортного – сетевым, канальным и физическим. Так, например, если качество каналов передачи связи очень высокое, и вероятность наличия ошибок, не обнаруженных протоколами более низких уровней, невелика, стоит воспользоваться одним из облегченных сервисов транспортного уровня, не обремененных многочисленными проверками, квитированием и другими приемами повышения надежности. Если же транспортные средства нижних уровней изначально очень ненадежны, то целесообразно обратиться к наиболее развитому сервису транспортного уровня, который работает, используя максимум средств для обнаружения и устранения ошибок, – с помощью предварительного установления логического соединения, отслеживания доставки сообщений по контрольным суммам и циклической нумерации пакетов, установления тайм-аутов доставки и т. п.

Транспортный уровень – обеспечение доставки информации с требуемым качеством между любыми узлами сети:

- разбивка сообщения сеансового уровня на пакеты, их нумерация;
- буферизация принимаемых пакетов;
- упорядочивание прибывающих пакетов;
- адресация прикладных процессов;
- управление потоком.

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети – компонентами их сетевых операционных систем. В качестве примера транспортных протоколов можно привести протоколы TCP и UDP стека TCP/IP и протокол SPX стека Novell.

Протоколы четырех нижних уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Остальные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

### **Сеансовый уровень**

Сеансовый уровень (Session layer) обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все сначала. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Сеансовый уровень – управление диалогом объектов прикладного уровня:

- установление способа обмена сообщениями (дуплексный или полудуплексный);
- синхронизация обмена сообщениями;
- организация «контрольных точек» диалога.

### **Представительный уровень**

Представительный уровень (Presentation layer) имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания. За счет уровня представления информация, передаваемая прикладным уровнем одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы. С помощью средств данного уровня протоколы прикладных уровней могут преодолеть синтаксические различия в представлении данных или же различия в кодах символов, например в кодах ASCII и EBCDIC. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которому секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех

прикладных служб. Примером такого протокола является протокол Secure Socket Layer (SSL), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Уровень представления – согласовывает представление (синтаксис) данных при взаимодействии двух прикладных процессов:

- преобразование данных из внешнего формата во внутренний;
- шифрование и расшифровка данных.

### **Прикладной уровень**

Прикладной уровень (Application layer) – это в действительности просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые Web-страницы, а также организуют совместную работу, например с помощью протокола электронной почты. Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется сообщением (message).

Прикладной уровень – набор всех сетевых сервисов, которые предоставляет система конечному пользователю:

- идентификация, проверка прав доступа;
- принт- и файл-сервис, почта, удаленный доступ.

Существует очень много различных служб прикладного уровня. Приведем в качестве примера хотя бы несколько наиболее распространенных реализаций файловых служб: NCP в операционной системе Novell NetWare, SMB в Microsoft Windows NT, NFS, FTP и TFTP, входящие в стек TCP/IP.

### **Сетезависимые и сетезависимые уровни**

Функции всех уровней модели OSI могут быть отнесены к одной из двух групп: либо к функциям, зависящим от конкретной технической реализации сети, либо к функциям, ориентированным на работу с приложениями.

Три нижних уровня – физический, канальный и сетевой – являются сетезависимыми, то есть протоколы этих уровней тесно связаны с технической реализацией сети и используемым коммуникационным оборудованием. Например, переход на оборудование FDDI означает полную смену протоколов физического и канального уровней во всех узлах сети.

Три верхних уровня – прикладной, представительный и сеансовый – ориентированы на приложения и мало зависят от технических особенностей построения сети. На протоколы этих уровней не влияют какие бы то ни было изменения в топологии сети, замена

оборудования или переход на другую сетевую технологию. Так, переход от Ethernet к высокоскоростной технологии 100VG-AnyLAN не потребует никаких изменений в программных средствах, реализующих функции прикладного, представительного и сеансового уровней.

Транспортный уровень является промежуточным, он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних. Это позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств непосредственной транспортировки сообщений.

На (рис. 1.49) показаны уровни модели OSI, на которых работают различные элементы сети. Компьютер с установленной на нем сетевой ОС взаимодействует с другим компьютером с помощью протоколов всех семи уровней. Это взаимодействие компьютеры осуществляют опосредованно, через различные коммуникационные устройства: концентраторы, модемы, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы, мультиплексоры. В зависимости от типа коммуникационное устройство может работать либо только на физическом уровне (повторитель), либо на физическом и канальном (мост), либо на физическом, канальном и сетевом, иногда захватывая и транспортный уровень (маршрутизатор).

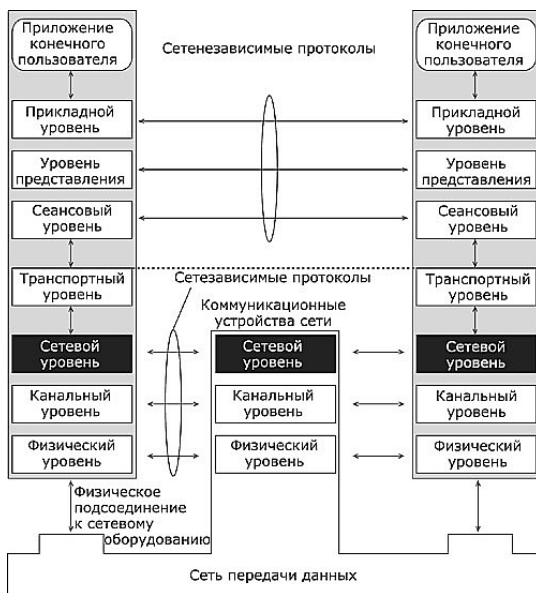


Рис. 1.49. Сетезависимые и сетезависимые уровни модели OSI

На рис. 1.50 показано соответствие функций различных коммуникационных устройств уровням модели OSI.

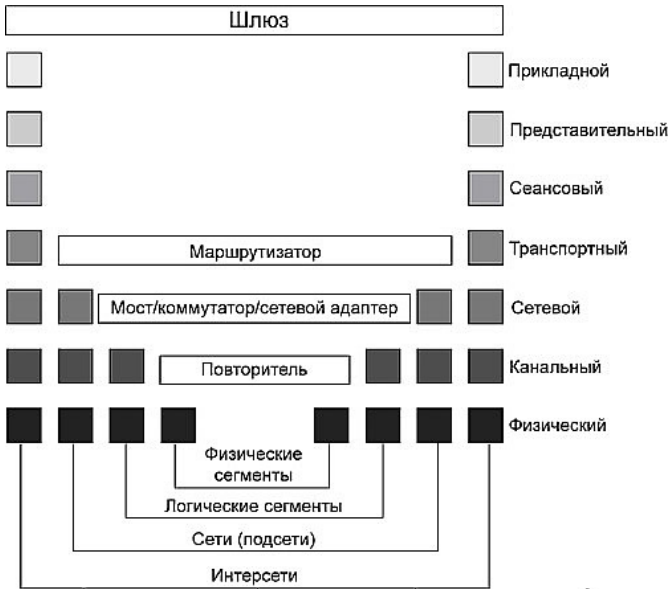


Рис. 1.50. Соответствие функций различных устройств сети уровням модели OSI

## **2. СОВРЕМЕННЫЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Область автоматизации технологических процессов активно развивается на протяжении последних десятилетий. Исторически первыми появились локальные аналоговые системы управления, получающие данные с датчиков в виде аналоговых значений, преобразованных в электромагнитную форму (ток, напряжение), и работающие независимо друг от друга. Задача передачи данных в этом случае была тривиальной и не требовала специфических решений. По мере усложнения систем автоматики возникло сразу несколько потребностей:

- сбор информации с большого количества разнесенных в пространстве датчиков. Классический подход требовал бы прокладки линии от каждого из датчиков к управляющему устройству, что увеличивало протяженность кабельных трасс и усложняло их монтаж; взаимодействие нескольких управляющих устройств между собой путем обмена информацией;

- построение иерархических АСУ ТП, включающих как уровень управляющих устройств, так и верхний уровень управления с участием человека.

Эти потребности привели к возникновению сетей обмена данными, ориентированных на использование в промышленной автоматике (Fieldbus). Развитие таких сетей идет параллельно с развитием локальных сетей общего назначения и зачастую заимствует из них некоторые наиболее успешные технологии.

### **2.1. Этапы развития сетей промышленной автоматизации. Топология сетей**

Три основные предпосылки, которые вызывают сегодня повсеместный переход разработчиков систем АСУ к применению распределенных сетевых технологий.

1. Изделия из кремния дешевеют, изделия из меди дорожают. За последние годы эта тенденция стала особенно заметна. Прошли те времена, когда нормой жизни считался огромный шкаф, напичканный автоматикой, с выходящими из него толстыми пучками

кабелей, ведущими к датчикам и исполнительным механизмам. Сегодня в большинстве случаев становится экономически целесообразной установка на площади цеха или участка нескольких локальных контроллеров или интеллектуальных УСО, объединенных в единую сеть, чем прокладка разветвленных кабельных систем.

2. Стоимость работ по установке, тестированию, вводу и сопровождению централизованной системы гораздо выше, чем у распределенной. Количество проводных соединений в централизованной системе, как минимум, в два раза больше, чем в распределенной (рис. 2.1 и 2.2). Нужно учитывать многократно возрастающую вероятность ошибки при монтаже проводников в многочисленных кроссовых клеммных колодках и сложность поиска и устранения неисправностей. Отдельно стоит упомянуть о ситуации, когда в составе объекта управления появляется еще несколько входных или выходных каналов. Добавление новых линий связи к уже проложенной кабельной системе – занятие не из простых.

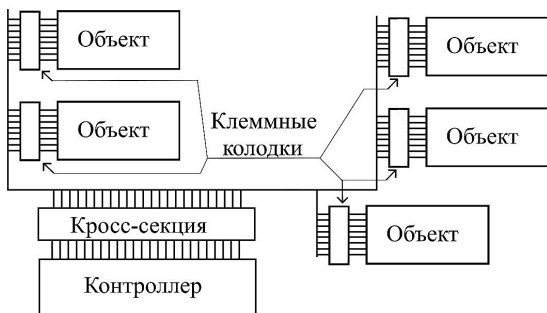


Рис. 2.1. Централизованная структура АСУ ТП

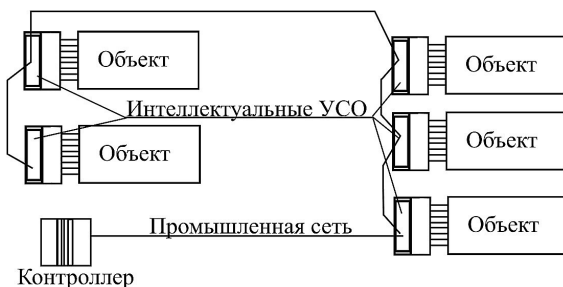


Рис. 2.2. Распределенная структура АСУ ТП



3. Растущая потребность в «распределенном интеллекте». Сегодня, когда микропроцессоры и другие специализированные микросхемы стали достаточно дешевыми, стало целесообразным выделять в общей системе АСУ отдельные локальные задачи, решение которых поручать локальным контроллерам. Контур управления, таким образом, замыкается на нижнем уровне. Сеть же позволяет контроллерам в качестве аргументов для вычисления управляющего вектора использовать переменные других контроллеров, обеспечивая связанность системы управления в целом. Такая архитектура существенно увеличивает производительность, надежность и масштабируемость систем. Кроме того, современные исполнительные механизмы, как правило, уже сами являются интеллектуальными и законченными «субъектами» промышленных сетей.

В качестве практического примера построения централизованной структуры сбора данных рассмотрим автоматизированную систему научных исследований (АСНИ) для контроля поедаемости кормов на молочно-товарной ферме. Индивидуальные кормушки коров установлены на тензовесы с весовыми терминалами типа ХК3118Т1 (рис. 2.3)



Рис. 2.3. Общий вид участка кормления коров с тензометрическими весами

Всего необходимо осуществлять сбор данных с 14 кормушек. Весовой терминал типа ХК3118Т1 имеет выходной интерфейс RS-232. Поскольку данный интерфейс не сетевой, то на компьютере АСНИ требуется 14 СОМ-портов для подключения весоизмерительных контроллеров «Кели» ХК3118Т1 с интерфейсом RS-232. Поскольку в компьютерах последних 10 лет выпуска СОМ-порты отсутствуют или имеются в единственном экземпляре, требуемое количество портов 14 шт. – оптимальным с точки зрения стоимости оборудования образом – обеспечивается установкой в компьютер двух мультипортовых плат по 8 портов на каждой. Предполагаемое максимальное удаление любого из весоизмерительных контроллеров от компьютера – около 50 м, на сегодняшний день точно неизвестно. Настройка скорости передачи данных контроллера ХК3118Т1 обеспечивает значения 600, 1200, 2400, 4800 или 9600 бит/с. Предел дальности передачи данных по проводам через интерфейс RS-232 не должен превышать 50 м (рекомендованное значение не более 15 м); в то же время в зависимости от типа кабеля и внешних условий на скорости 2400, 4800 или 9600 бит/с указанный предел может составлять соответственно 900, 300 или 150 м. Если по результатам опытной эксплуатации передача данных будет недостаточно помехоустойчивой, технически возможно переконфигурировать порты платы в режим передачи по интерфейсу RS-485, обеспечивающий передачу данных на расстояние от 120 до 1200 м и закупить необходимое число преобразователей RS-232/485 для подключения вторых концов линий связи к весоизмерительным контроллерам. Вариант установки мультипортовых плат 8xRS232/422/485 с возможным переконфигурированием портов и подключением одного преобразователя RS-232/485 со стороны весоизмерительного контроллера менее рискованный и более экономичный, чем установка плат 8xRS232 с возможным подключением двух преобразователей RS-232/485 со стороны весоизмерительного контроллера и компьютера (рис. 2.4).

Для обмена данными с весоизмерительными контроллерами ХК3118Т1 по интерфейсу RS-232 требуется 3 сигнала (RXD, TXD, GND), которые обеспечит кабель СС3G. Таким образом, для сбора данных централизованная структура АСНИ требует свыше 500 м дорогостоящего кабеля. При использовании сетевых децентрализованных средств понадобилось бы менее 100 м кабеля.

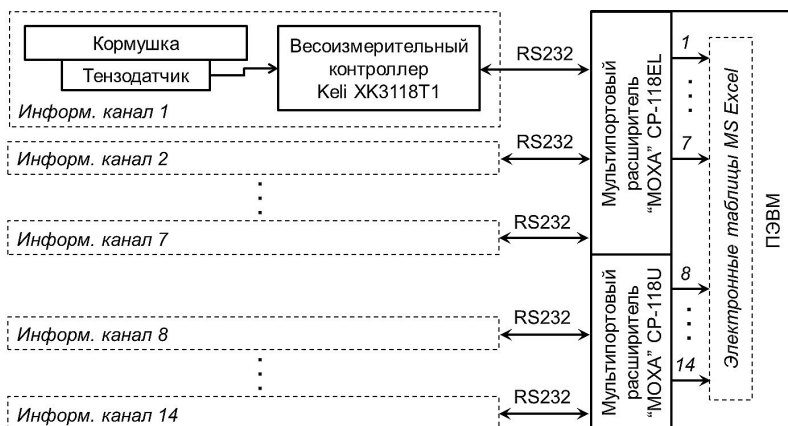


Рис. 2.4. Функциональная схема централизованной АСНИ кормления коров с тензометрическими весами

Программное обеспечение представляет интерфейс пользователю с возможностью контроля индивидуальной массы любой из 14 кормушек (рис. 2.4, а).



Рис. 2.4, а. Экран пользователя системы контроля кормушек на МТФ

Окно «Вес корма» позволяет осуществлять визуальный контроль текущих измерений и функционирования контроллеров.

В окне «Вес корма» отображаются следующие элементы: строка меню с кнопкой меню «Настройка» («Параметры») и рабочая панель. Форма формируется автоматически по количеству активных контроллеров, подключенных к кормушкам. Форма обновляется автоматически в соответствии с поступлением сведений от контроллеров.

В форме «Вес корма» приводятся оперативные наблюдения (текущие значения) для каждой кормушки.

Для кормушки отображаются:

- вес нетто (отображается крупным шрифтом в поле около номера кормушки);
- вес брутто;
- вес тары;
- СОМ-порт, соответствующий этой кормушке;
- скорость передачи данных;
- индикатор передачи данных (красный прямоугольник – отсутствует связь с контроллером, зеленая – идет передача данных).

Здесь же расположена кнопка «Обнулить весы», используемая для установления нулевого значения датчика (при пустой кормушке в этом случае будет вычислен вес тары). В случае отсутствия связи с контроллером кнопка «Обнуление веса» недоступна.

Форма (за исключением кнопки «Обнулить весы») носит информационный характер и не позволяет выполнять никаких действий.

В случае, когда от контроллера поступает характерное сообщение об ошибке, на месте данных с этого контроллера появляется сообщение программы пользователю: «Проверьте датчик».

При работе с формой программа позволяет выполнять следующие действия для каждого тензометрического контроллера:

- подключать и отключать контроллеры (поле «Вкл.»);
- назначать СОМ-порт для контроллера из списка свободных СОМ-портов из 17 имеющихся в системе (поле «Порт»);
- выбирать требуемую скорость передачи данных: 60, 1200, 2400, 4800 или 9600 бит/с (поле «Скорость»);
- добавлять комментарии (поле «Заметки») (рис. 2.4, б)

В списке присутствуют все СОМ-порты, имеющиеся в системе (автоматически проводится проверка наличия СОМ-портов, и при их отсутствии выдается соответствующее сообщение). Каждому датчику можно подключить любой свободный порт. Для каждого

порта может быть два состояния – включен либо выключен, для каждого COM-порта можно установить скорость передачи данных – от 600 (применяется для больших расстояний между весоизмерительным устройством и компьютером) до 9600 бит/с. Отражается связь весоизмерительных устройств с компьютером, предусмотрена возможность оставления комментариев.

№	Вкл.	Порт:	Скорость:	бит/с	Заметки:
1	<input checked="" type="checkbox"/>	COM1	9600	бит/с	Удлинанность коровы в 4 балла
2	<input checked="" type="checkbox"/>	COM2	9600	бит/с	
3	<input type="checkbox"/>	COM3	9600	бит/с	Кормить только с 10 до 17 часов
4	<input checked="" type="checkbox"/>	COM4	9600	бит/с	
5	<input type="checkbox"/>	COM5	9600	бит/с	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	COM6	9600	бит/с	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	COM7	9600	бит/с	

Рис. 2.4, б. Назначение и параметры COM-порта для тензометрического контроллера

Для работы с измеренными данными усредненные данные по каждому периоду сохраняются в книге Excel, формируемой автоматически. Файл электронных таблиц с результатами наблюдений соответствует одному году, содержит 12 листов – по одному на каждый месяц. Названия листов формируются следующим образом: порядковый номер месяца (2 цифры), пробел, название месяца с большой буквы (например, «03 Март»).

На каждом листе в строках содержатся суточные данные по порядку дней в месяце – сначала все дни месяца для первой кормушки, затем – для второй и т. д. (рис. 2.4, в).

В столбцах расположены временные интервалы, по которым проводится усреднение показаний.

В первом столбце, начиная со второй строки, приведены номера кормушек, показания которых расположены в соответствующей строке, во втором столбце указаны даты (также начиная со второй строки).

В первой строке, начиная с третьего столбца, указаны временные интервалы, по которым проводится усреднение (указывается начало интервала усреднения с точностью до минуты). Например,

если усреднение проводится каждые полчаса (т. е. интервал усреднения составляет 30 мин), заголовки столбцов будут иметь вид 0:00, 0:30, 1:00 и т. д.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'FeedWeight2015'. The table has columns labeled 'Дата' (Date) and 'Весы' (Weights). The 'Дата' column contains dates from 01.03.2015 to 25.03.2015. The 'Весы' column contains numerical values: 185,9645 for 01.03.2015, 15,8196 for 02.03.2015, and 5,96 for 03.03.2015. All other cells in the 'Весы' column are empty.

	Дата	Весы
1	01.03.2015	185,9645
2	02.03.2015	15,8196
3	03.03.2015	5,96
4	04.03.2015	
5	05.03.2015	
6	06.03.2015	
7	07.03.2015	
8	08.03.2015	
9	09.03.2015	
10	10.03.2015	
11	11.03.2015	
12	12.03.2015	
13	13.03.2015	
14	14.03.2015	
15	15.03.2015	
16	16.03.2015	
17	17.03.2015	
18	18.03.2015	
19	19.03.2015	
20	20.03.2015	
21	21.03.2015	
22	22.03.2015	
23	23.03.2015	
24	24.03.2015	
25	25.03.2015	
26	25.03.2015	

Рис. 2.4, в. Исходный вид таблицы с данными

В остальных ячейках указаны измеренные значения. Если в течение какого-либо временного промежутка кормление не производилось, соответствующая ячейка будет пустой. В ячейки электронной таблицы вносятся усредненные значения веса корма за заданные интервалы. Значения за прошедшие периоды фиксированы, а в текущем периоде значения постоянно обновляются до истечения соответствующего интервала усреднения (данные с весоизмерительных устройств считываются каждые 50 мс). При этом в ячейке электронной таблицы хранится постоянное обновляющееся среднее значение. Отрицательные показания массы, которые могут возникать в результате вибраций тензодатчика, исключаются из расчета.

## 2.2. Распределенные системы управления. Сетевые архитектуры и протоколы

Одним из ранних стандартов для обмена данными является принятый Международной электротехнической комиссией (МЭК – IEC) в 1960 году стандарт RS232 для соединения типа «точка-точка» двух устройств по последовательному асинхронному каналу данных. Несмотря на долгий срок, данный стандарт до сих пор используется в простых случаях для соединения устройств промышленной автоматики.

Первые централизованные попытки стандартизации промышленных сетей были предприняты в 1984 г. в виде проекта стандарта IEC61158, в котором определялись требования для открытой промышленной сети, устройств удаленного ввода/вывода, контроллеров, согласующих устройств. Однако принятие этого стандарта состоялось только в 2003 году. В 1989 году организацией BMBF (Германское федеральное министерство по исследованиям и технологии) была разработана спецификация открытой промышленной сети, получившей название PROFIBUS (PROcess Field BUS), в основу которой легла модель ISO/OSI, принятая ранее. Позднее эту спецификацию использовал в производстве своего оборудования немецкий концерн Siemens, что позволило ей выйти на мировой рынок. В 1991 году спецификация PROFIBUS получила статус немецкого национального стандарта DIN 19245, а позднее вошла как часть в IEC 61158 В 1996 году стандарт PROFIBUS был оформлен в виде европейского стандарта промышленной сети (European Fieldbus Standard) EN 50170 В связи с распространением Ethernet-технологий был создан консорциум фирм, поставивший цель разработать аналог протокола PROFIBUS для Ethernet-сетей. Такой протокол получил название PROFINET и вошел в одну из редакций стандарта IEC 61158 Стандарт определяет работу протоколов на физическом, канальном и прикладном уровнях модели OSI. Параллельно стандарту PROFIBUS шло развитие других протоколов для промышленной автоматизации. В 1979 году фирмой Modicon(впоследствии Schneider Electric) был представлен стандарт MODBUSдля обмена в режиме «ведущий-ведомый» между производимыми ею ПЛК. Впоследствии фирма открыла спецификацию протокола для всех желающих, что способствовало повышению

популярности его использования вплоть до настоящего времени. Наряду с MODBUS широко используются другие стандарты (CANBUS, BitBUS, ASI).

*Режим передачи.* В протоколе Modbus существуют два режима передачи. Это ASCII (American Standard Code for Information Interchange) и RTU (Remote Terminal Unit). Режим выбирается пользователем, в зависимости от используемого в сети оборудования. Для каждой сети Modbus должен использоваться только один режим. Использование смешанных режимов в одной сети не допускается.

*Структура кадра сообщения в режиме ASCII.* Семибитовый код ASCII был разработан как универсальный код для отображения символов английского языка для телетайпов и является принятым в США стандартом для представления символов английского языка и управляющих символов, например, CR (возврат каретки) и LF (перевод строки). Наименования этих символов сохранились со времен телетайпов и сейчас просто указывают на конец кадра. Преимуществом данного режима является то, что если в качестве ведомого устройства включить монитор, то можно увидеть на экране понятный человеку отформатированный код, который послан ведущим устройством на экран монитора. На рис. 2.5 показана структура сообщения Modbus в режиме ASCII. Его начало обозначается символом «:»(3Ah), а конец – последовательностью CR/LF (два символа ASCII – 0Dh, 0Ah).

Начало	Адрес устройства	Код функции	Данные	Контрольная сумма (LRC)	Конец
1 символ (:)	2 символа	2 символа	N символов	2 символа	2 символа (CR+LF)

Рис. 2.5. Структура кадра сообщения Modbus ASCII

Любой символ ASCII представляется 7 битами. Символы должны быть либо цифрами от 0 до 9, либо буквами от A до F, так как предполагается, что данные представляются в шестнадцатеричном формате, но отображаются в виде символов ASCII. Например, код функции 03 будет отображаться двумя ASCII-символами: «0»(30h) и «3»(33h). То же самое относится и к содержимому поля данных. Одним из преимуществ режима ASCII является то, что он не предъявляет жестких требований к синхронизации. Допускается



временной промежуток между символами до 1 секунды – только по истечении его генерируется сообщение о превышении лимита времени.

*Структура кадра сообщения в режиме RTU.* При работе в режиме RTU синхронизация имеет более важное значение, чем в режиме ASCII. В этом варианте специальный начальный символ отсутствует. Вместо этого кадр сообщения начинается с маркерного интервала, длительность которого равна времени передачи четырех символов. После истечения этого интервала передается адрес устройства, затем код функции и собственно данные. Имеются и другие отличия от кадра сообщения в режиме ASCII, как это показано на рис. 2.6.

Начало	Адрес устройства	Код функции	Данные	Контрольная сумма CRC	Конец
Интервал, равный времени передачи 4-х символов	8 бит	8 бит	№8 бит	16 бит	Интервал, равный времени передачи 4-х символов

Рис. 2.6. Структура кадра сообщения Modbus RTU

Вместо контрольной суммы LRC (Longitudinal Redundancy Check – продольный контроль по избыточности) в режиме RTU используется контрольная сумма CRC (Cyclic Redundancy Check – циклический контроль по избыточности). Конец кадра отмечается маркерным интервалом, равным времени передачи четырех символов. RTU-сообщения должны посылаться в виде непрерывного потока, и появление значительного временного интервала между смежными символами рассматривается как окончание сообщения. Сообщения в этом режиме весьма компактны и более эффективны, чем ASCII, с точки зрения их передачи. Поэтому режим RTU является более популярным.

В качестве примера использования интерфейса RS-485 с протоколом Modbus можно привести микропроцессорное устройство управления и защиты МКЗ (далее МКЗ) предназначено для управления и комплексной защиты погружными, поверхностными, штанговыми нефтяными насосами, компрессорами, вентиляторами, конвейерами и транспортерными лентами, мельницами, мешалками и любыми трехфазными асинхронными электродвигателями переменного тока с короткозамкнутым ротором по командам оператора или сигналам от датчиков (рис. 2.7).

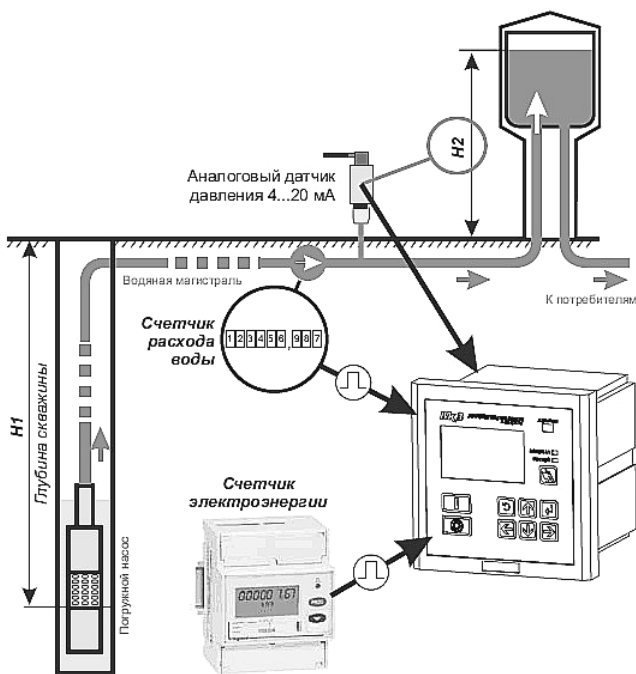


Рис. 2.7. Использование прибора МК3 для управления водоснабжением

При этом для организации связи между интерфейсами вместе с дифференциальными проводниками также прокладывается провод изолированной «земли» (сигнальной «земли»). Дренажный провод прокладывается вместе с витой парой и соединяет «земли» удаленных устройств. Через этот провод уравниваются потенциалы «земель». При включении устройства в линию дренажный провод следует подсоединять первым, а при отключении – отсоединять последним. Для ограничения тока через дренажный провод его заземляют в каждом устройстве через резистор в 100 Ом (0,5 Вт) (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Схема соединения по интерфейсу RS-485

Микросхема драйвера, установленная в МКЗ, обладает высоким входным сопротивлением (порядка 96 кОм), что позволяет включить в одну сеть более 32 устройств. Питание драйвера осуществляется от отдельного изолированного источника. Выполнена гальваническая развязка всех сигнальных линий (рис. 2.9).

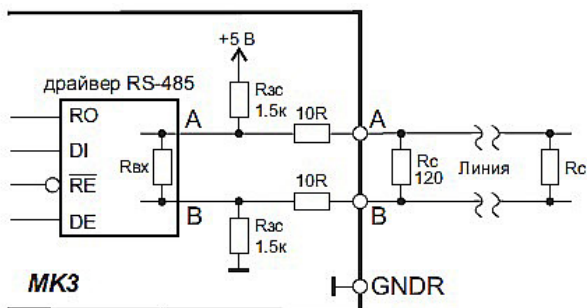


Рис. 2.9. Схема выходного каскада интерфейса RS-485

Топология сетей на основе интерфейса RS-485 определяется необходимостью устранения отражений в линии передачи. Поскольку отражения происходят от любой неоднородности, в том числе отвлений от линии, то единственно правильной топологией сети будет такая, которая выглядит как единая линия без отводов, к которой не более чем в 32 точках подключены устройства с интерфейсом RS-485 (рис. 2.10).

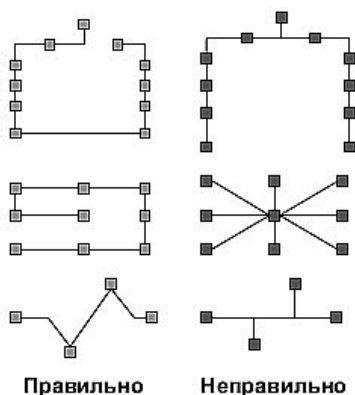


Рис. 2.10. Топология сети на базе интерфейса RS-485

Любые варианты, в которых линия имеет длинные отводы или соединение нескольких кабелей в одной точке, приводят к отражениям и снижению качества передачи. Однако сказанное справедливо только для высоких скоростей передачи (более 9600 бит/с), когда эффекты отражения влияют на достоверность передачи. Для низких скоростей длина отвода может быть произвольной.

Для взаимодействия компьютеров под управлением Windows с промышленными устройствами (обычно ПЛК) в 1996 году был разработан стандарт OPC (OLE for Process Control). Для поддержки стандарта была создана организация OPC Foundation, включающая в себя производителей промышленного автоматизирующего оборудования. Основное преимущество OPC состоит в том, что за счет открытости стандарта компьютер под управлением ОС Windows может получать данные с контроллеров различных производителей, поддерживающих этот стандарт. Преимущественно используется для построения систем верхнего уровня автоматизации (SCADA-систем). Первые версии стандарта были основаны на разработанных Microsoft технологиях OLE (Object Linking and Embedding), COM, DCOM. Однако с целью устранения зависимости стандарта от продуктов компании Microsoft с 2010 года развивается спецификация OPC UA (Unified Architecture), закрепленная в стандарте IEC 62541.

В целом необходимо отметить, что, в отличие от сетей общего назначения, стандартизация сетей промышленной автоматики еще не закончила свое формирование и развивается под давлением отдельных групп компаний-производителей, отстаивающих свои интересы при разработке международных стандартов.

Промышленная сеть – сеть передачи данных, связывающая различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры и используемая в промышленной автоматизации. Термин употребляется преимущественно в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Устройства используют сеть для:

- передачи данных между датчиками, контроллерами и исполнительными механизмами;
- диагностики и удаленного конфигурирования датчиков и исполнительных механизмов;
- калибрования датчиков;

- питания датчиков и исполнительных механизмов;
- передачи данных между датчиками и исполнительными механизмами, минуя центральный контроллер;
- связи между датчиками, исполнительными механизмами, ПЛК и АСУ ТП верхнего уровня;
- связи между контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса (операторскими системами).

В промышленных сетях для передачи данных применяют:

- кабели;
- оптоволоконные линии;
- беспроводную связь (радиомодемы и Wi-Fi).

Промышленные сети могут взаимодействовать с обычными компьютерными сетями, в частности использовать глобальную сеть Internet.

Термин «полевая шина» является дословным переводом английского термина *fieldbus*. Термин «промышленная сеть» является более точным переводом, и в настоящее время именно он используется в профессиональной технической литературе.

Промышленные сети отличаются от офисных следующими свойствами:

- специальным конструктивным исполнением, обеспечивающим защиту от пыли, влаги, вибрации, ударов;
- широким температурным диапазоном (обычно от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- повышенной прочностью кабеля, изоляции, разъемов, элементов крепления;
- повышенной устойчивостью к воздействию электромагнитных помех;
- возможностью резервирования для повышения надежности;
- повышенной надежностью передачи данных;
- возможностью самовосстановления после сбоя;
- детерминированностью (определенностью) времени доставки сообщений;
- возможностью работы в реальном времени (с малой, постоянной и известной величиной задержки);
- работой с длинными линиями связи (от сотен метров до нескольких километров).

### **Достоинства**

В сравнении с подключением периферийного оборудования к контроллеру отдельными проводами промышленная сеть имеет следующие достоинства:

- в несколько раз снижается расход на кабель и его прокладку;
- увеличивается допустимое расстояние до подключаемых датчиков и исполнительных устройств;
- упрощается управление сетью датчиков и исполнительных механизмов;
- упрощается модификация системы при изменении типа датчиков; используемого протокола взаимодействия, добавлении устройств ввода-вывода;
- позволяют дистанционно настраивать датчики и проводить их диагностику.

### **Недостатки**

- при обрыве кабеля теряется возможность получать данные и управлять не одним, а несколькими устройствами (в зависимости от места обрыва и топологии сети остается возможность автономного функционирования сегмента сети и схемы управления);
- для повышения надежности приходится резервировать каналы связи или использовать кольцевую топологию сети.

### ***Классификация промышленных сетей***

Соединение промышленной сети с ее компонентами (устройствами, узлами сети) выполняется с помощью интерфейсов. Сетевым интерфейсом называют логическую и (или) физическую границу между устройством и средой передачи информации. Обычно этой границей является набор электронных компонентов и связанного с ними программного обеспечения. При существенных модификациях внутренней структуры устройства или программного обеспечения интерфейс остается без изменений, что является одним из признаков, позволяющих выделить интерфейс в составе оборудования.

Наиболее важными параметрами интерфейса являются пропускная способность и максимальная длина подключаемого кабеля. Промышленные интерфейсы обычно обеспечивают гальваническую развязку между соединяемыми устройствами. Наиболее распространены в промышленной автоматизации последовательные интерфейсы RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet, CAN, HART, AS-интерфейс.

Для обмена информацией взаимодействующие устройства должны иметь одинаковый протокол обмена. В простейшей форме протокол – это набор правил, которые управляют обменом информацией. Он определяет синтаксис и семантику сообщений, операции управления, синхронизацию и состояния при коммуникации. Протокол может быть реализован аппаратно, программно или программно-аппаратно. Название сети обычно совпадает с названием протокола, что объясняется его определяющей ролью при создании сети.

Взаимодействие устройств в промышленных сетях выполняется в соответствии с моделями:

- клиент-сервер;
- издатель-подписчик (производитель-потребитель).

В модели клиент-сервер взаимодействуют два объекта. Сервером является объект, который предоставляет сервис, т. е. который выполняет некоторые действия по запросу клиента. Сеть может содержать несколько серверов и несколько клиентов. Каждый клиент может посылать запросы нескольким серверам, а каждый сервер может отвечать на запросы нескольких клиентов. Эта модель удобна для передачи данных, которые появляются периодически или в заранее известное время, как, например, значения температуры в периодическом технологическом процессе. Однако эта модель неудобна для передачи случайно возникающих событий, например, события, состоящего в случайном срабатывании датчика уровня, поскольку для получения этого события клиент должен периодически, с высокой частотой, запрашивать состояние датчика и анализировать его, перегружая сеть бесполезным трафиком.

В модели взаимодействия издатель-подписчик имеется один издатель и множество подписчиков. Подписчики сообщают издателю список тегов, значения которых они хотят получать по определенному расписанию или по мере появления новых данных. Каждый клиент может подписаться на свой набор тегов. В соответствии с установленным расписанием издатель рассылает подписчикам запрошенную информацию.

В любой модели взаимодействия можно выделить устройство, которое управляет другим (подчиненным) устройством. Устройство, проявившее инициативу в обмене, называют ведущим, главным или мастером (Master). Устройство, которое отвечает на запросы

мастера, называют ведомым, подчиненным или слейвом (Slave). Ведомое устройство никогда не начинает коммуникацию первым. Оно ждет запроса от ведущего и только отвечает на запросы. Например, в модели клиент-сервер клиент является мастером, сервер – подчиненным. В модели издатель-подписчик на этапе подписки мастером является клиент, а на этапе рассылки публикаций – сервер.

Сети могут иметь топологию:

- звезды;
- кольца;
- шины;
- смешанную.

«Звезда» в промышленной автоматизации используется редко. Кольцо используется в основном для передачи маркера в много-мастерных сетях. Шинная топология является общепринятой, что является одной из причин применения термина «промышленная шина» вместо «промышленная сеть». К общей шине в разных местах может быть подключено произвольное количество устройств.

### **Описание интерфейса RS-485**

Интерфейс RS-485 обеспечивает обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме. Широко используется в промышленности при создании АСУ ТП. Главное отличие RS-485 от также широко распространенного RS-232 – возможность объединения нескольких устройств, т. е. интерфейс является сетевым.

### **Скорость и дальность**

RS-485 обеспечивает передачу данных со скоростью до 10 Мбит/с. Максимальная дальность зависит от скорости: при скорости 10 Мбит/с максимальная длина линии – 120 м, при скорости 100 кбит/с – 1200 м.

### **Количество соединяемых устройств**

Количество устройств, подключаемых к одной линии интерфейса, зависит от типа примененных в устройстве приемопередатчиков. Один передатчик рассчитан на управление 32 *стандартными* приемниками. Выпускаются приемники с входным сопротивлением 1/2, 1/4, 1/8 от стандартного. При использовании таких приемников общее число устройств может быть увеличено соответственно: 64, 128 или 256.



## Протоколы и разъемы

Стандарт не нормирует формат информационных кадров и протокол обмена. Наиболее часто для передачи байтов данных используются те же фреймы, что и в интерфейсе RS-232: стартовый бит, биты данных, бит паритета (если нужно), стоповый бит.

Протоколы обмена в большинстве систем работают по принципу «ведущий-ведомый». Одно устройство на магистрали является ведущим (master) и инициирует обмен посылкой запросов подчиненным устройствам (slave), которые различаются логическими адресами. Одним из популярных протоколов является протокол Modbus RTU.

Используется локальная сеть на основе интерфейса RS-485, объединяющая несколько приемопередатчиков (рис. 2.11).

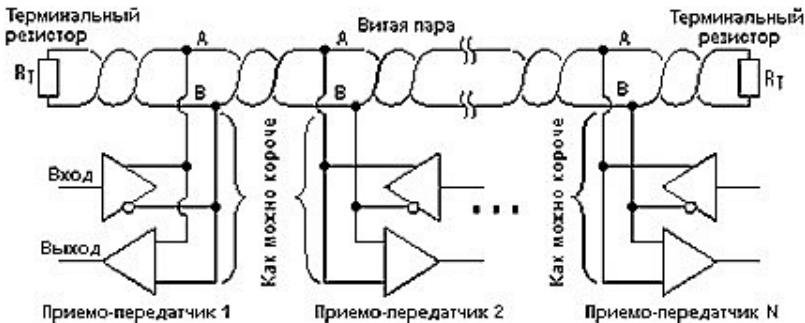


Рис. 2.11. Локальная сеть на основе интерфейса RS-485

При подключении следует правильно присоединить сигнальные цепи, обычно называемые А и В. Переполюсовка не страшна, но устройство работать не будет.

### Общие рекомендации

Лучшей средой передачи сигнала является кабель на основе *витой пары*.

Концы кабеля должны быть заглушены *терминальными резисторами* (обычно 120 Ом).

Сеть должна быть положена по топологии *шины, без ответвлений*.

Устройства следует подключать к кабелю проводами *минимальной длины*.

Витая пара является оптимальным решением для прокладки сети, поскольку обладает наименьшим паразитным излучением сигнала и хорошо защищена от наводок. В условиях повышенных внешних помех применяют кабели с экранированной витой парой, при этом экран кабеля соединяют с защитной «землей» устройства.

### Согласование

Терминальные резисторы обеспечивают согласование «открытого» конца кабеля с остальной линией, устраняя отражение сигнала.

Номинальное сопротивление резисторов соответствует волновому сопротивлению кабеля, и для кабелей на основе витой пары обычно составляет 100–120 Ом. Например, широко распространенный кабель UTP-5, используемый для прокладки Ethernet, имеет импеданс 100 Ом. Специальные кабели для RS-485 марки Belden 9841...9844 – 120 Ом. Для другого типа кабеля может потребоваться другой номинал. Резисторы могут быть запаяны на контакты кабельных разъемов у конечных устройств.

Иногда резисторы бывают смонтированы в самом устройстве и для подключения резистора нужно установить перемычку. В этом случае при отсоединении устройства линия «рассогласовывается», и для нормальной работы остальной системы требуется подключение согласующей заглушки.

### Уровни сигналов

Интерфейс RS-485 использует балансную (дифференциальную) схему передачи сигнала. Это означает, что уровни напряжений на сигнальных цепях А и В меняются в противофазе, как показано на приведенном рис. 2.12:



Рис. 2.12. Уровни напряжений на сигнальных цепях А и В интерфейса RS-485

Передатчик должен обеспечивать уровень сигнала 1,5 В при максимальной нагрузке (32 стандартных входа и 2 терминальных резистора) и не более 6 В на холостом ходу. Уровни напряжений измеряют дифференциально, один сигнальный провод относительно другого. На стороне приемника RS-485 минимальный уровень принимаемого сигнала должен быть не менее 200 мВ.

### **Рекомендации по программированию**

При программировании приложений для контроллеров, использующих для связи интерфейс RS-485, следует учитывать несколько моментов:

Перед началом выдачи посылки нужно включить передатчик. Хотя некоторые источники утверждают, что выдачу можно начинать сразу после включения, однако рекомендуем выдержать паузу, равную или большую длительности передачи одного фрейма (включая стартовый и стоповый биты). В этом случае правильная программа приема успевает обнаружить ошибки переходного процесса, нормализоваться и подготовиться к приему первого байта данных.

После выдачи последнего байта данных следует также выдержать паузу перед выключением передатчика RS-485. Это связано с тем, что контроллер последовательного порта обычно имеет два регистра: параллельный входной для приема данных и выходной сдвиговый для последовательного вывода. Прерывание по передаче контроллер формирует при опустошении входного регистра, когда данные уже выложены в сдвиговый регистр, но еще не выданы! Поэтому с момента прерывания до выключения передатчика нужно выдержать паузу. Ориентировочная длительность паузы – на 0,5 бита длиннее фрейма, для точного расчета следует внимательно изучить документацию на контроллер последовательного порта.

Поскольку передатчик и приемник интерфейса RS-485 подключены к одной линии, то собственный приемник будет «слышать» передачу своего же передатчика. Иногда в системах с произвольным доступом к линии это свойство используют для проверки отсутствия «столкновений» двух передатчиков. В системах, работающих по принципу «ведущий–ведомый», на время передачи лучше просто закрывать прерывания от приемника.

### ***Промышленные протоколы CAN, Profibus, Foundation fieldbus***

Промышленная сеть реального времени CAN (*Controller Area Network* – сеть контроллеров) представляет собой сеть с общей средой передачи данных. Это означает, что все узлы сети одновременно принимают сигналы, передаваемые по шине. Невозможно послать сообщение какому-либо конкретному узлу. Все узлы сети принимают весь трафик, передаваемый по шине. Однако CAN-контроллеры предоставляют аппаратную возможность фильтрации CAN-сообщений.

Каждый узел состоит из двух составляющих. Собственно, CAN-контроллер, который обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол, и микропроцессор (CPU) (рис. 2.13).

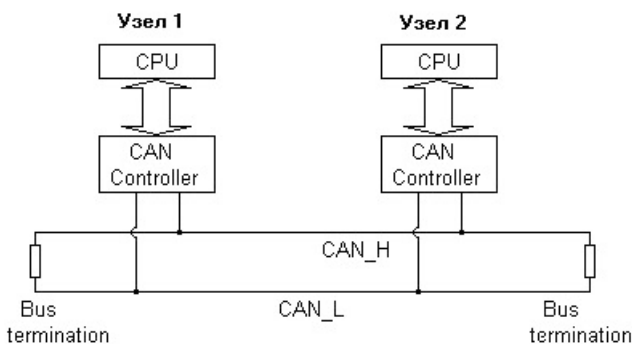


Рис. 2.13. Топология сети CAN

CAN-контроллеры соединяются с помощью дифференциальной шины, которая имеет две линии – CAN\_H (can-high) и CAN\_L (can-low), по которым передаются сигналы. Логический ноль регистрируется, когда на линии CAN\_H сигнал выше, чем на линии CAN\_L. Логическая единица – в случае, когда сигналы CAN\_H и CAN\_L одинаковы (отличаются менее чем на 0,5 В). Использование такой дифференциальной схемы передачи делает возможным работу CAN сети в очень сложных внешних условиях. Логический ноль – называется доминантным битом, а логическая единица – рецессивным. Эти названия отражают приоритет логической единицы и нуля на шине CAN. При одновременной передаче в шину логического нуля и единицы на шине будет зарегистрирован только логический

ноль (доминантный сигнал), а логическая единица будет подавлена (рецессивный сигнал).

Данные в CAN передаются короткими сообщениями-кадрами стандартного формата.

В CAN существуют четыре типа сообщений:

- Data Frame;
- Remote Frame;
- Error Frame;
- Overload Frame.

**Data Frame** (кадр данных) – это наиболее часто используемый тип сообщения. Он состоит из следующих основных частей:

- поле арбитража (arbitration field) – содержит 11-битное число-идентификатор, который определяет приоритет сообщения в случае, когда два или более узлов одновременно пытаются передать данные в сеть;
- поле данных (data field) содержит от 0 до 8 байт данных;
- поле CRC (CRC field) содержит 15-битную контрольную сумму сообщения, которая используется для обнаружения ошибок;
- слот подтверждения (Acknowledgement Slot) (1 бит), каждый CAN-контроллер, который правильно принял сообщение посылает бит подтверждения в сеть. Узел, который послал сообщение, слушает этот бит, и в случае если подтверждение не пришло, повторяет передачу. В случае приема слота подтверждения передающий узел может быть уверен лишь в том, что хотя бы один из узлов в сети правильно принял его сообщение (рис. 2.14).

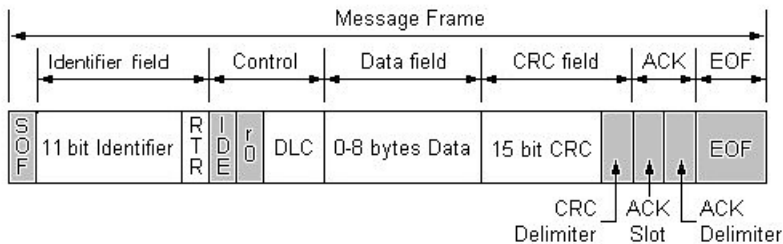


Рис. 2.14. Кадр данных стандарта CAN

**Remote Frame** (кадр удаленного запроса) – это Data Frame без поля данных и с выставленным битом RTR (1 – рецессивный бит). Основное

предназначение Remote кадра – это инициация одним из узлов сети передачи в сеть данных другим узлом.

**Error Frame** (сообщение об ошибке) – это сообщение об ошибке. Передача такого сообщения приводит к тому, что все узлы сети регистрируют ошибку формата CAN-кадра, и, в свою очередь, автоматически передают в сеть Error Frame. Результатом этого процесса является автоматическая повторная передача данных в сеть передающим узлом.

**Overload Frame** (сообщение о перегрузке) – используется перегруженным узлом, который в данный момент не может обработать поступающее сообщение, и поэтому просит при помощи Overload-кадра о повторной передаче данных.

### **Физический уровень протокола CAN**

Физический уровень (Physical Layer) протокола CAN определяет сопротивление кабеля, уровень электрических сигналов в сети и т. п. Существует несколько физических уровней протокола CAN (ISO 11 898, ISO 11 519, SAE J2411).

В подавляющем большинстве случаев используется физический уровень CAN, определенный в стандарте ISO 11 898. ISO 11 898 в качестве среды передачи определяет двухпроводную дифференциальную линию с импедансом (терминаторы) 120 Ом (допускается колебание импеданса в пределах от 108 Ом до 132 Ом). Физический уровень CAN реализован в специальных чипах – CAN-приемопередатчиках (transceivers), которые преобразуют обычные TTL-уровни сигналов, используемых CAN-контроллерами в уровни сигналов на шине CAN. Наиболее распространенный CAN-приемопередатчик Phillips 82C250, который полностью соответствует стандарту ISO 11 898.

Максимальная скорость сети CAN в соответствии с протоколом равна 1 Mbit/sec. При скорости в 1 Mbit/sec максимальная длина кабеля равна примерно 40 метрам. Ограничение на длину кабеля связано с конечной скоростью света и механизмом побитового арбитража (во время арбитража все узлы сети должны получать текущий бит передачи одновременно, т. е. сигнал должен успеть распространиться по всему кабелю за единичный отсчет времени в сети (табл. 2.1).

**Контроль ошибок** – важнейший аспект работы протокола CAN. Стандарт предусматривает несколько механизмов контроля ошибок.

Соотношение между скоростью передачи и максимальной длиной кабеля

Скорость передачи	Максимальная длина сети
1000 Кбит/сек	40 метров
500 Кбит/сек	100 метров
250 Кбит/сек	200 метров
125 Кбит/сек	500 метров
10 Кбит/сек	6 километров

Во-первых, это **контроль передачи битов** – уровень сигнала в сети сравнивается с передаваемым для каждого бита.

Второй механизм заключается в **использовании дополнительных битов** (*stuffing bit*). После передачи любых пяти одинаковых битов автоматически добавляется передача бита противоположного значения. Таким образом, при передаче шести одинаковых битов диагностируется ошибка stuffing'a. Этот механизм используется для кодирования всех полей фреймов данных и запроса. Исключением являются только поля промежутка подтверждения, разграничителя контрольной суммы и EOF.

Стандартная процедура **проверки контрольной суммы**. Передатчик вычисляет контрольную сумму для текущего кадра и передает ее в линию. В свою очередь, приемник также вычисляет контрольную сумму для принимаемых данных и сравнивает ее с тем значением, которое было отправлено передатчиком. В случае несовпадения значений диагностируется ошибка CRC.

Также выполняется **контроль битов фрейма, которые должны иметь заранее определенное значение**. В случае, если реальное значение не совпадает с тем, которое ожидается, возникает ошибка.

Благодаря всем этим механизмам, вероятность необнаружения ошибки является очень низкой.

Таким образом, в качестве основных характеристик протокола CAN можно отметить следующие:

- очень высокая надежность и защищенность;
- каждое сообщение имеет свой собственный приоритет;
- реализован механизм обнаружения ошибок;

- автоматическая повторная отправка сообщений, которые были доставлены с ошибкой;
- уже упомянутый широковещательный характер передачи данных;
- возможность присутствия нескольких ведущих (master) устройств в одной сети;
- широкий диапазон скоростей работы;
- высокая устойчивость интерфейса к помехам;
- кроме того, есть механизм обнаружения «сбойных» узлов с последующим удалением таких узлов из сети.

### ***Промышленная сеть стандарта Profibus***

PROFIBUS ((PROcess FIEld BUS)) (читается – Профи бас) – открытая промышленная сеть, прототип которой был разработан компанией Siemens AG для своих промышленных контроллеров SIMATIC. На основе этого прототипа организация пользователей Profibus разработала международные стандарты, принятые затем некоторыми национальными комитетами по стандартизации. Очень широко распространена в Европе, особенно в машиностроении и управлении промышленным оборудованием.

PROFIBUS – это наиболее успешно развивающаяся открытая шина промышленного применения (Fieldbus), обладающая широким диапазоном приложений. Открытость PROFIBUS гарантирует, что устройства, приобретенные от различных поставщиков, могут осуществлять связь друг с другом без необходимости применения интерфейсов-адаптеров.

### **Протоколы сети PROFIBUS**

Одни и те же каналы связи сети PROFIBUS допускают одновременное использование нескольких протоколов передачи данных:

- PROFIBUS DP (Decentralized Peripheral – Распределенная периферия) – протокол, ориентированный на обеспечение скоростного обмена данными между системами автоматизации (ведущими DP-устройствами) и устройствами распределенного ввода-вывода (ведомыми DP-устройствами). Протокол характеризуется минимальным временем реакции и высокой стойкостью к воздействию внешних электромагнитных полей. Оптимизирован для высокоскоростных и недорогих систем. Эта версия сети была спроектирована специально для связи между



автоматизированными системами управления и распределенной периферией. Электрически близка к RS-485, но сетевые карты используют 2-портовую рефлективную память, что позволяет устройствам обмениваться данными без загрузки процессора контроллера.

– PROFIBUS PA (Process Automation – Автоматизация процесса) – протокол обмена данными с оборудованием полевого уровня, расположенным в обычных или Ex-зонах (взрывоопасных зонах). Протокол отвечает требованиям международного стандарта IEC 61158-2. Позволяет подключать датчики и приводы на одну линейную шину или кольцевую шину.

– PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification – Спецификация сообщений полевого уровня) – универсальный протокол для решения задач по обмену данными между интеллектуальными сетевыми устройствами (контроллерами, компьютерами/программаторами, системами человеко-машинного интерфейса) на полевом уровне. Некоторый аналог промышленного Ethernet, обычно используется для высокоскоростной связи между контроллерами и компьютерами верхнего уровня и используемыми диспетчерами. Скорость до 12 Мбит/с.

Все протоколы используют одинаковые технологии передачи данных и общий метод доступа к шине, поэтому они могут функционировать на одной шине.

Сеть Profibus построена в соответствии с многоуровневой сетевой моделью ISO 7498. Profibus определяет следующие уровни:

– физический уровень – отвечает за характеристики физической передачи;

– канальный уровень – определяет протокол доступа к шине;

– уровень приложений – отвечает за прикладные функции.

**Физически Profibus** может представлять собой:

– электрическую сеть с шинной топологией, использующую экранированную витую пару, соответствующую стандарту RS-485;

– оптическую сеть на основе волоконно-оптического кабеля;

– инфракрасную сеть.

Скорость передачи по ней может варьироваться от 9,6 Кбит/сек до 12 Мбит/сек. Шина PROFIBUS использует специальный двухжильный кабель с разъемами DB-9. Для связи нескольких узлов

разъем может соединять два кабеля. Также в нем есть переключатель для терминального резистора. Терминальный резистор должен быть включен на концевых устройствах сети, таким образом сообщается, что это первое или последнее устройство. Если на промежуточном разьеме включить резистор, то следующий за ним участок будет отключен (рис. 2.15).

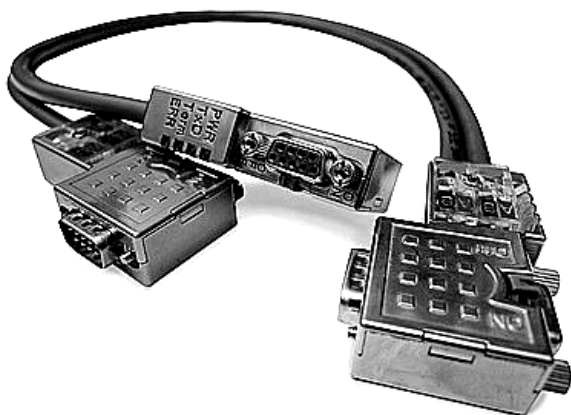


Рис. 2.15. Кабель PROFIBUS с соединительными разъемами

Для всех версий Profibus существует единый **протокол доступа к шине**. Данный протокол реализует процедуру доступа с помощью маркера (англ. token). Сеть Profibus состоит из ведущих (англ. master) и ведомых (англ. slave) станций. Ведущая станция может контролировать шину, то есть может передавать сообщения (без удаленных запросов), когда она имеет право на это (то есть, когда у нее есть маркер). Ведомая станция может лишь распознавать полученные сообщения или передавать данные после соответствующего запроса. Маркер циркулирует в логическом кольце, состоящем из ведущих устройств. Если сеть состоит только из одного ведущего, то маркер не передается (в таком случае в чистом виде реализуется система master-slave) (рис. 2.16).

Показана гибридная технология доступа с участием активных и пассивных узлов.

Все активные узлы (ведущие) формируют логическое маркерное кольцо, имеющее фиксированный порядок, при этом каждый

активный узел «знает» другие активные узлы и их порядок в логическом кольце (порядок не зависит от топологии расположения активных узлов на шине).

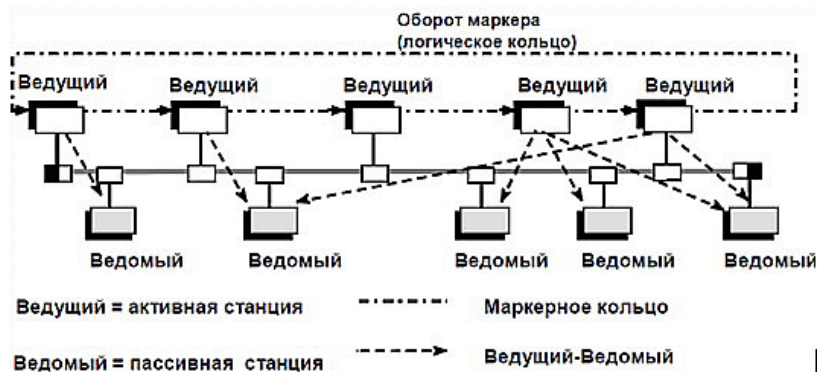


Рис. 2.16. Принципы технологии доступа к среде передачи информации в сетях PROFIBUS

Право доступа к каналу передачи данных, так называемый «маркер», передается от активного узла к активному узлу в порядке, определяемом логическим кольцом.

Если узел получил маркер (адресованный именно ему), он может передавать пакеты. Время, отпущенное ему на передачу пакетов, определяется временем удержания маркера. Как только это время истекает, узлу разрешается передать только одно сообщение высокого приоритета. Если такое сообщение у узла отсутствует, он передаёт маркер следующему узлу в логическом кольце. Маркерные таймеры, по которым рассчитывается максимальное время удержания маркера, конфигурируются для всех активных узлов.

Если активный узел обладает маркером, и если для него сконфигурированы соединения с пассивными узлами (соединения «ведущее устройство–ведомое устройство»), производится опрос пассивных узлов (например, считывание значений) или передача данных на эти устройства (например, передача уставок).

Пассивные узлы никогда не принимают маркер.

### ***HART – стандарт передачи данных через токовую петлю 4-20мА***

Один из способов автоматического контроля промышленного оборудования – это использование токовой петли 4...20 мА. Первичная

переменная (PV) передается как значение тока в диапазоне 4...20 мА в двухпроводной линии с питанием датчика по тем же двум проводам. Недостаток этого метода заключается в том, что вы можете контролировать только одну переменную. Протокол Скоростного адресного доступа к удаленному преобразователю (Highway Addressable Remote Transducer, HART) дает возможность передавать больше информации по той же двухпроводной системе. Протокол HART является распространенным методом связи в промышленной автоматизации на протяжении уже многих лет.

При создании HART-протокола в 1980 году преследовалась цель сделать его совместимым с широко распространенным в то время стандартом «токовая петля», но добавить возможности, необходимые для управления интеллектуальными устройствами. Поэтому аналоговая «токовая петля» 4...20 мА была модернизирована таким образом, что получила возможность полудуплексного цифрового обмена данными. Для этого аналоговый сигнал  $A(t)$  суммируется с цифровым сигналом  $D(t)$  и полученная таким образом сумма передается с помощью источника тока 4...20 мА по линии связи (рис. 2.17).

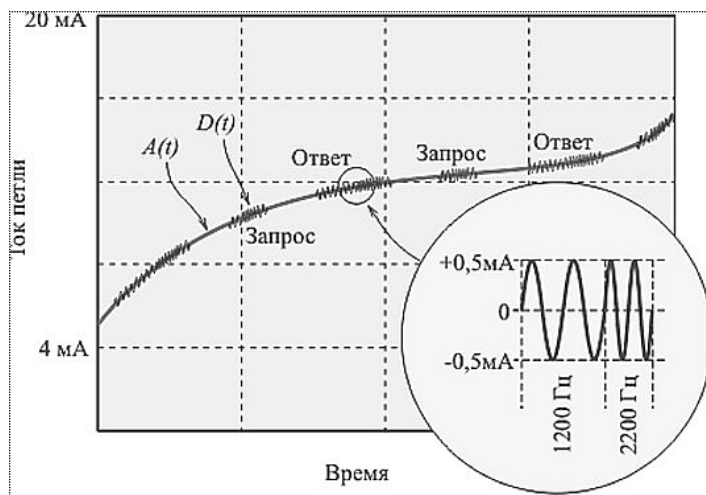


Рис. 2.17. Принцип формирования информационного сигнала по протоколу HART

Частотно-модулированный сигнал – это переменный ток амплитудой  $\pm 0,5$  мА с частотой 1200 Гц для цифровой единицы и 2200 Гц

для цифрового нуля. Среднее значение этого синусоидального сигнала равно нулю, так что он не оказывает влияния на сигнал 4-20 мА и не искажает показания датчика.

Благодаря сильному различию диапазонов частот аналогового (0...10 Гц) и цифрового (1200 Гц и 2200 Гц) сигналов они легко могут быть разделены фильтрами низких и высоких частот в приемном устройстве. При передаче цифрового двоичного сигнала логическая единица кодируется синусоидальным сигналом с частотой 1200 Гц, ноль – 2200 Гц. При смене частоты фаза колебаний остается непрерывной. Такой способ формирования сигнала называется частотной манипуляцией с непрерывной фазой. Выбор частот соответствует американскому стандарту BELL 202 на телефонные каналы связи.

Принцип взаимодействия устройств на физическом уровне показан на рис. 2.18. Сопротивление  $R_n$  выбирается так же, как и в токовой петле (стандартом предусмотрена величина 230...1100 Ом) и служит для преобразования тока 4...20 мА в напряжение. Акт взаимодействия устройств инициирует контроллер. Цифровой сигнал от источника напряжения  $E$  через конденсатор  $C_{вч}$  подается в линию передачи и принимается на стороне датчика в форме напряжения в диапазоне от 400 до 800 мВ. Приемник датчика воспринимает HART-сигналы в диапазоне от 120 мВ до 2 В, сигналы от 0 до 80 мВ приемником игнорируются. Получив запрос, датчик формирует ответ, который в общем случае может содержать как аналоговый сигнал  $A(t)_2$ , так и цифровой ( $D(t)_2$ ). Аналоговый сигнал обычно содержит информацию об измеренной величине, а цифровой – информацию о единицах и диапазоне измерения, о выходе величины за границы динамического диапазона, о типе датчика, имени изготовителя и т. п.). Аналоговый и цифровой сигнал суммируются и подаются в линию связи в форме тока. На стороне контроллера ток преобразуется в напряжение резистором  $R_n$ . Полученный сигнал подается на фильтр нижних частот с частотой среза 10 Гц и на фильтр верхних частот с частотой среза 400...800 Гц. На выходе фильтров выделяются цифровой сигнал  $D(t)_2$  и аналоговый  $A(t)_2$ . При использовании фильтров второго порядка погрешность, вносимая цифровым сигналом в аналоговый, составляет всего 0,01 % от 20 мА (см. рис. 2 18).

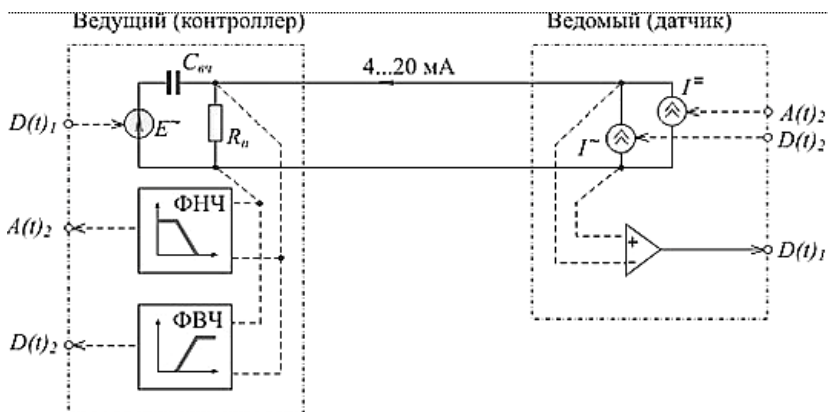


Рис. 2.18. Принцип работы HART-протокола на физическом уровне

Протокол HART имеет два основных режима работы: «точка-точка» и режим множественного доступа. В режиме «точка-точка» имеется одно ведущее устройство и одно ведомое. Преимущество этого режима заключается в том, что цифровые данные легко передаются по существующей линии 4...20 мА, что обеспечивает более детальный мониторинг устройства по существующей инфраструктуре сетей связи. В режиме множественного доступа к одной линии присоединяется несколько ведущих и ведомых устройств, поэтому могут передаваться только цифровые данные протокола HART в виде частотно-модулированного сигнала, а постоянный ток в линии фиксируется на уровне 4 мА. Режим множественного доступа может быть полезен, если много вынесенных устройств обменивается данными с единой системой управления, но в этом случае постоянный ток интерфейса «токовая петля» не может быть использован для непрерывного отслеживания основного измеряемого значения.

Протокол связи HART имеет следующие достоинства:

- простая настройка, сервис и техническое обслуживание устройств с поддержкой HART;
- совместимость с обычными аналоговыми полевыми устройствами и датчиками;
- открытый стандарт, доступный каждому изготовителю оборудования КИП;
- достаточно высокая помехоустойчивость.

Главным недостатком HART является то обстоятельство, что усовершенствования протокола могут производиться только в области программного обеспечения, а не в аппаратной части протокола (в связи с необходимостью поддерживать совместимость со «старееющей» технологией аналоговой аппаратуры). Следовательно, сегодня HART является медленной технологией по сравнению с другими протоколами и системами связи.

### ***Программирование открытия сетевого соединения и обмена данными между промышленными контроллерами по сети Ethernet***

В процессе программирования открытого сетевого подключения необходимо убедиться в том, что устройству программирования доступны два контроллера. Этим контроллерам необходимо назначить IP-адреса в сети. После этого необходимо сконфигурировать логическое сетевое соединение между двумя контроллерами, как показано на рис. 2.19.

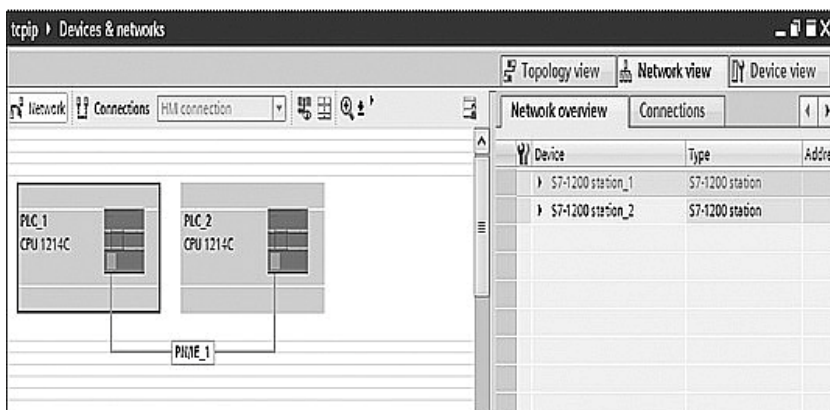


Рис. 2.19. Логическое сетевое соединение между двумя контроллерами

Следующим шагом будет создание в памяти контроллеров символьных переменных, определяющих адрес пересылаемого блока данных в памяти контроллера – отправителя PLC\_1 и адрес блока, куда данные будут помещаться в память контроллера – получателя PLC\_2. Переменные, которые необходимо создать, показаны в следующей табл. 2.2.

Символьные имена используемых в проекте переменных контроллера

ПЛК	Name	Data Type	Logical Address
PLC_1 – отправитель	inputs	Byte	%IB0
PLC_2 – получатель	outputs	Byte	%QB0

Переменная `inputs` должна быть создана в таблице тегов контроллера PLC\_1 (Project tree→PLC\_1→PLC tags→Default tag table), а переменная `outputs` – в таблице тегов контроллера PLC\_2 (Project tree→PLC\_2→PLC tags→Default tag table). Таким образом, переменная `inputs` объединяет в себе 8 дискретных входов DI а контроллера PLC\_1 с адресами %I0.0 – %I0.7, а переменная `outputs` объединяет в себе восемь дискретных выходов DQ а контроллера PLC\_2 с адресами %Q0.0 – %Q0.7. Очевидное преимущество такого подхода состоит в том, что вместо пересылки каждого из восьми битов по отдельности удобнее переслать их все вместе одним блоком типа Byte.

Далее следует использовать команды `TSEND_C`, `TRCV_C` в программных блоках Main, соответственно, контроллеров PLC\_1 и PLC\_2 (рис. 2.20; 2.21).

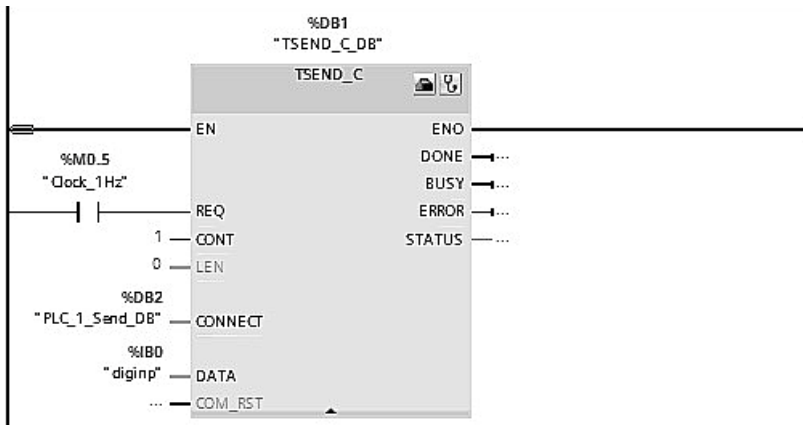


Рис. 2.20. Команда TSEND\_C в программном блоке контроллера PLC\_1



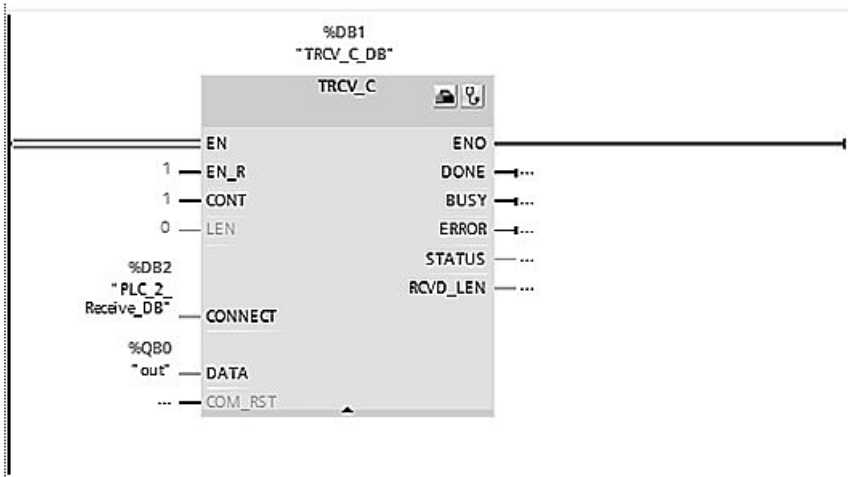


Рис. 2.21. Команда TRCV\_C в программном блоке контроллера PLC\_2

Для настройки и ввода всех необходимых параметров команды следует выполнить щелчок левой клавишей мыши на названии команды «TSENC\_C\_DB» и в появившемся маленьком всплывающем меню выбрать команду Start configuration. При этом в нижней части экрана активируется вкладка Configuration, реализующая интерфейс настройки параметров. Необходимые для заполнения поля будут выделены розовым цветом.

На вкладке Connection parameter:

- в поле Partner (устройство-партнер) выбрать PLC\_2;
- в поле Connection data для устройства PLC\_1 (Local) выбрать new, при этом система автоматически создаст системный блок данных PLC\_1\_Send\_DB, содержащий все параметры сконфигурированного ранее сетевого соединения между контроллерами: наименование протокола передачи данных (по умолчанию – TCP), IP адрес получателя и др.;

- в поле Connection ID (dec) ввести номер соединения – 1;

- повторно в поле Partner указать PLC\_2 и далее в поле Connection data для PLC\_2 (Partner) также выбрать new, при этом система создаст уже в памяти контроллера PLC\_2 аналогичный системный блок PLC\_2\_Receive\_DB, также содержащий параметры сетевого соединения;

на вкладке Block parameter:

- в поле Start request (REQ) ввести «Clock\_1Hz» – символьное имя бита часовой памяти, реализующего тактовые импульсы с частотой 1 Гц (можно выбрать бит с другим значением частоты);

- в поле CONT – ввести 1;

- в поле Send area (DATA), Start указать адрес пересылаемых данных;

- «inputs».

Далее аналогичным образом нужно вставить команду TRCV\_C в блок Main контроллера PLC\_2. Для настройки параметров команды следует выполнить щелчок левой клавишей мыши на названии команды «TRCV\_C\_DB» и выбрать Start configuration. При этом в нижней части экрана активируется панель Configuration, реализующая интерфейс настройки параметров. На панели Configuration нужно

на вкладке Connection parameter:

- в поле Partner (устройство-партнер) выбрать PLC\_1;

- в поле Connection data для устройства PLC\_1 (Local) выбрать блок PLC\_2\_Receive\_DB;

на вкладке Block parameter:

- в поле Enable request (EN\_R) ввести TRUE;

- в поле CONT – ввести 1;

- в поле Receive area (DATA), Start указать адрес памяти, куда будет помещен принимаемый блок данных – «outputs».

Сохранить проект.

Загрузка сохраненного проекта производится отдельно в память каждого из контроллеров. Для этого в дереве проекта следует выбрать вкладку Devices & networks. В появившемся окне Devices & networks будет схематическое изображение соединенных сетевым соединением контроллеров PLC\_1 и PLC\_2. Для загрузки проекта в память контроллера необходимо выделить мышью схематическое изображение контроллера и выбрать команду главного меню Online→Download to device. Затем необходимо проделать то же самое для другого контроллера.

## 2.3. Удаленный контроль и управление с использованием GSM и интернет-технологий. Протокол работы Ethernet

### *Интернет-технологии в основе информационной среды*

В последнее время наибольшую популярность приобретает работа с информацией, полученной через сеть Интернет. Под информационными технологиями в интернете понимают последовательности технологических операций, реализующих информационные процессы в трансграничной телекоммуникационной информационной сети.

*Интернет* – это глобальная вычислительная сеть (World Wide Web – Всемирная паутина), объединяющая множество региональных, ведомственных, частных и других информационных сетей каналами связи и едиными для всех ее участников правилами организации пользования и приема/передачи данных, устанавливаемых протоколом TCP/IP<sup>[1]</sup>.

Другими словами – это распределенная база знаний, включающая множество различных информационных массивов (информационных ресурсов, баз данных или знаний), состоящих из документов, данных, текстов, объединенных между собой трансграничной телекоммуникационной информационной паутиной или сетью. Совокупность информационных массивов World Wide Web пронизывается многочисленными гипертекстовыми связями.

В состав сети Интернет входят и обеспечивают ее функционирование множество провайдеров (субъектов, предоставляющих информационные услуги пользователям интернета), владельцев серверов, пользователей услуг интернета и потребителей информации.

С помощью Интернета активно формируется мировое информационное пространство, составляющее основу информационного общества. В нем действуют крупные информационные конгломераты, объединяющие системы создания информации (издательские дома, редакции газет и журналов, телесети, телестудии), и сети ее распространения (кабельные, телефонные, компьютерные и спутниковые).

Постоянно растет число услуг, предоставляемых через интернет. Из реальной жизни в мир интернета переходят традиционные услуги: широкомасштабные распределенные вычисления, видеоконференции высокого разрешения, здравоохранение, развлечение

и игры, финансовые операции, системы безопасности, телевидение, контроль состояния окружающей среды, сенсорные сети и др.

В результате развития телекоммуникационных систем, глобальных сетей и интерактивных средств распространения информации появляется возможность для доступа отдельного пользователя к практически неограниченным массивам информации – создается единое мировое электронное информационное пространство.

Под организационной упорядоченностью совокупности массивов документов и информационных технологий понимается организация деятельности в сети многочисленных провайдеров, предоставляющих услуги по размещению информации пользователям или возможность поиска и получения информации в базах данных; владельцев и собственников серверов, на которых размещаются базы данных; субъектов, обращающихся к интернету и получающих информацию.

Важная особенность глобального информационного пространства заключается в том, что в интернете отсутствуют географические и геополитические границы государств. Интернет представляет собой новую среду обитания человечества, новую среду деятельности личности, общества, государства – виртуальную среду.

В числе отличительных свойств информационных технологий, имеющих стратегическое значение для развития экономики и общества в целом, существует семь наиболее важных.

1) Интернет-технологии позволяют активизировать и эффективно использовать информационные ресурсы общества, которые сегодня являются наиболее важным стратегическим фактором развития.

2) Интернет-технологии позволяют оптимизировать и во многих случаях автоматизировать информационные процессы, которые в последние годы занимают все большее место в жизнедеятельности человеческого общества.

3) Использование интернет-технологий является элементом, включенным в более сложные производственные и социальные процессы. Поэтому зачастую интернет-технологии выступают в качестве компонентов соответствующих производственных и социальных технологий.

4) Интернет-технологии сегодня играют исключительно важную роль в обеспечении информационного взаимодействия между людьми, а также в системах подготовки и распространения массовой информации.

5) Интернет-технологии занимают сегодня центральное место в процессе интеллектуализации общества и экономики.

6) Информационные технологии играют в настоящее время ключевую роль также и в процессах получения и накопления новых знаний. Большинство из этих знаний выступает как экономическое благо, использование которого повышает эффективность экономических процессов, происходящих как в рамках отдельного предприятия, так и на территории всего земного шара.

7) Принципиально важное для современного этапа развития общества значение развития интернет-технологий заключается в том, что их использование может оказать существенное влияние на решение основных проблем экономического развития общества.

Выполнение интернет-технологиями этих свойств позволяет экономикам стран мира активно развиваться. Но при этом внедрение интернет-технологий во внутренне пространство любой компании является достаточно сложным процессом. Связано это в первую очередь с тем, что сами по себе интернет-технологии являются комплексной системой, рассмотрение которой возможно с нескольких точек зрения.

### **Архитектура и принципы работы сети Интернет**

Глобальные сети (Wide Area Network, WAN) – это сети, предназначенные для объединения отдельных компьютеров и локальных сетей, расположенных на значительном удалении (сотни и тысячи километров) друг от друга. Глобальные сети объединяют пользователей, расположенных по всему миру, используя при этом самые разнообразные каналы связи.

Современный интернет – весьма сложная и высокотехнологичная система, позволяющая пользователю общаться с людьми, находящимися в любой точке земного шара, быстро и комфортно отыскивать любую необходимую информацию, публиковать для всеобщего сведения данные, которые он хотел бы сообщить всему миру.

В действительности Internet не просто сеть – это структура, объединяющая обычные сети. Internet – это «сеть сетей».

Чтобы описать сегодняшний Internet, полезно воспользоваться строгим определением.

В своей книге «The Matrix: Computer Networks and Conferencing Systems Worldwide» Джон Квотерман описывает Internet как «метасеть, состоящую из многих сетей, которые работают согласно протоколам

семейства TCP/IP, объединены через шлюзы и используют единое адресное пространство и пространство имен».

В Internet нет единого пункта подписки или регистрации, вместо этого вы контактируете с поставщиком услуг, который предоставляет вам доступ к сети через местный компьютер. Последствия такой децентрализации с точки зрения доступности сетевых ресурсов также весьма значительны. Среду передачи данных в Internet нельзя рассматривать только как паутину проводов или оптоволоконных линий. Оцифрованные данные пересылаются через маршрутизаторы, которые соединяют сети и с помощью сложных алгоритмов выбирают наилучшие маршруты для информационных потоков (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Схема взаимодействия в сети Интернет

В отличие от локальных сетей, в составе которых имеются свои высокоскоростные каналы передачи информации, глобальная (а также региональная и, как правило, корпоративная) сеть включает подсеть связи (иначе: территориальную сеть связи, систему передачи информации), к которой подключаются локальные сети,

отдельные компоненты и терминалы (средства ввода и отображения информации) (рис. 2.23).

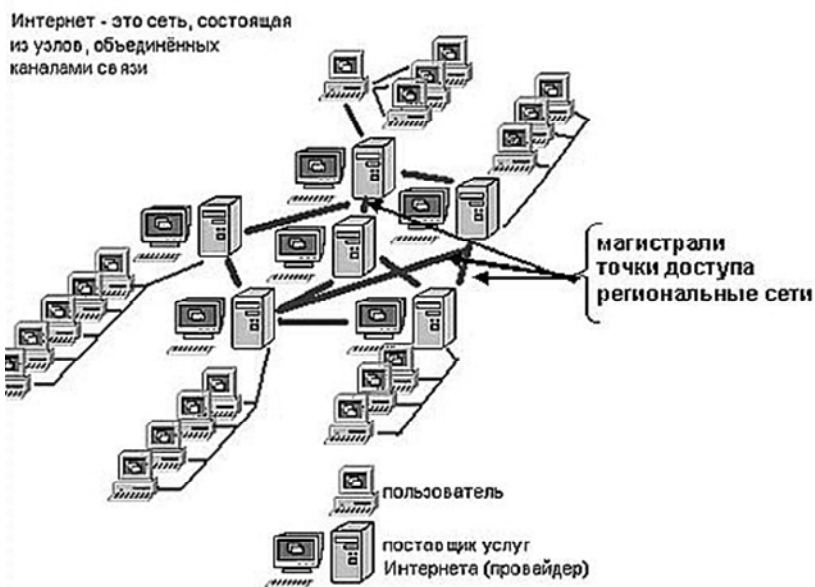


Рис. 2.23. Инфраструктура сети Интернет

Подсеть связи состоит из каналов передачи информации и коммуникационных узлов, которые предназначены для передачи данных по сети, выбора оптимального маршрута передачи информации, коммутации пакетов и реализации ряда других функций с помощью компьютера (одного или нескольких) и соответствующего программного обеспечения, имеющихся в коммуникационном узле. Компьютеры, за которыми работают пользователи-клиенты, называются рабочими станциями, а компьютеры, являющиеся источниками ресурсов сети, предоставляемых пользователям, называются серверами. Такая структура сети получила название узловой.

В основу архитектуры сетей положен многоуровневый принцип передачи сообщений. Формирование сообщения осуществляется на самом верхнем уровне модели ISO/OSI. Затем (при передаче) оно последовательно проходит все уровни системы до самого нижнего, где и передается по каналу связи адресату. По мере прохождения

каждого из уровней системы сообщение трансформируется, разбивается на сравнительно короткие части, которые снабжаются дополнительными заголовками, обеспечивающими информацией аналогичные уровни на узле адресата. В этом узле сообщение проходит от нижнего уровня к верхнему, снимая с себя заголовки. В результате адресат принимает сообщение в первоначальном виде.

В территориальных сетях управление обменом данными осуществляется протоколами верхнего уровня модели ISO/OSI. Независимо от внутренней конструкции каждого конкретного протокола верхнего уровня для них характерно наличие общих функций: инициализация связи, передача и прием данных, завершение обмена. Каждый протокол имеет средства для идентификации любой рабочей станции сети по имени, сетевому адресу или по обоим этим атрибутам. Активизация обмена информацией между взаимодействующими узлами начинается после идентификации узла адресата узлом, инициирующим обмен данными. Иницилирующая станция устанавливает один из методов организации обмена данными: метод дейтаграмм или метод сеансов связи. Протокол предоставляет средства для приема/передачи сообщений адресатом и источником. При этом обычно накладываются ограничения на длину сообщений.

### **ТСР/IP – технология межсетевого взаимодействия**

Наиболее распространенным протоколом управления обменом данными является протокол ТСР/IP. Главное отличие сети Internet от других сетей заключается именно в ее протоколах ТСР/IP, охватывающих целое семейство протоколов взаимодействия между компьютерами сети. ТСР/IP – это технология межсетевого взаимодействия, технология Internet. Поэтому глобальная сеть, объединяющая множество сетей с технологией ТСР/IP, называется Internet.

Протокол ТСР/IP – это семейство программно реализованных протоколов старшего уровня, не работающих с аппаратными прерываниями. Технически протокол ТСР/IP состоит из двух частей – IP и ТСР.

Протокол IP (Internet Protocol – межсетевой протокол) является главным протоколом семейства, он реализует распространение информации в IP-сети и выполняется на третьем (сетевом) уровне модели ISO/OSI. Протокол IP обеспечивает дейтаграммную доставку пакетов, его основная задача – маршрутизация пакетов. Он не отвечает за надежность доставки информации, ее целостность, сохранение



порядка потока пакетов. Сети, в которых используется протокол IP, называются IP-сетями. Они работают в основном по аналоговым каналам (т. е. для подключения компьютера к сети требуется IP-модем) и являются сетями с коммутацией пакетов. Пакет здесь называется дейтаграммой.

Высокоуровневый протокол TCP (Transmission Control Protocol – протокол управления передачей) работает на транспортном уровне и частично – на сеансовом уровне. Это протокол с установлением логического соединения между отправителем и получателем. Он обеспечивает сеансовую связь между двумя узлами с гарантированной доставкой информации, осуществляет контроль целостности передаваемой информации, сохраняет порядок потока пакетов.

Для компьютеров протокол TCP/IP – это то же, что правила разговора для людей. Он принят в качестве официального стандарта в сети Internet, т. е. сетевая технология TCP/IP де-факто стала технологией всемирной сети Интернет.

Ключевую часть протокола составляет схема маршрутизации пакетов, основанная на уникальных адресах сети Internet. Каждая рабочая станция, входящая в состав локальной или глобальной сети, имеет уникальный адрес, который включает две части, определяющие адрес сети и адрес станции внутри сети. Такая схема позволяет передавать сообщения как внутри данной сети, так и во внешние сети.

### **Основные протоколы сети Интернет**

Работа сети Internet основана на использовании семейств коммуникационных протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). TCP/IP используется для передачи данных как в глобальной сети Internet, так и во многих локальных сетях.

Название TCP/IP определяет семейство протоколов передачи данных сети. Протокол – это набор правил, которых должны придерживаться все компании, чтобы обеспечить совместимость производимого аппаратного и программного обеспечения. Эти правила гарантируют совместимость производимого аппаратного и программного обеспечения. Кроме того, TCP/IP – это гарантия того, что ваш персональный компьютер сможет связаться по сети Internet с любым компьютером в мире, также работающим с TCP/IP. При соблюдении определенных стандартов для функционирования всей системы не имеет значения, кто является производителем

программного обеспечения или аппаратных средств. Идеология открытых систем предполагает использование стандартных аппаратных средств и программного обеспечения. TCP/IP – открытый протокол и вся специальная информация издана и может быть свободно использована.

Различный сервис, включаемый в TCP/IP, и функции этого семейства протоколов могут быть классифицированы по типу выполняемых задач. Упомянем лишь основные протоколы, так как общее их число насчитывает не один десяток:

- транспортные протоколы – управляют передачей данных между двумя машинами:

- TCP/IP (Transmission Control Protocol),
- UDP (User Datagram Protocol);

- протоколы маршрутизации – обрабатывают адресацию данных, обеспечивают фактическую передачу данных и определяют наилучшие пути передвижения пакета:

- IP (Internet Protocol),
- ICMP (Internet Control Message Protocol),
- RIP (Routing Information Protocol)
- и другие;

- протоколы поддержки сетевого адреса – обрабатывают адресацию данных, обеспечивают идентификацию машины с уникальным номером и именем:

- DNS (Domain Name System),
- ARP (Address Resolution Protocol)
- и другие;

- протоколы прикладных сервисов – это программы, которые пользователь (или компьютер) использует для получения доступа к различным услугам:

- FTP (File Transfer Protocol),
- TELNET;
- HTTP (HyperText Transfer Protocol);
- NNTP (NetNewsTransfer Protocol)
- и другие

Сюда включается передача файлов между компьютерами, удаленный терминальный доступ к системе, передача гипермедийной информации и т. д.;

- шлюзовые протоколы помогают передавать по сети сообщения о маршрутизации и информацию о состоянии сети, а также обрабатывать данные для локальных сетей:

- EGP (Exterior Gateway Protocol);
- GGP (Gateway-to-Gateway Protocol);
- IGP (Interior Gateway Protocol);

- другие протоколы – используются для передачи сообщений электронной почты, при работе с каталогами и файлами удаленного компьютера и так далее:

- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol);
- NFS (Network File System).

### **IP-адресация**

Теперь подробнее остановимся на понятии IP-адреса.

Каждый компьютер в Internet (включая любой ПК, когда он устанавливает сеансовое соединение с провайдером по телефонной линии) имеет уникальный адрес, называемый IP-адрес.

IP-адрес имеет длину 32 бита и состоит из четырех частей по 8 бит, именуемых в соответствии с сетевой терминологией октетами (octets). Это значит, что каждая часть IP-адреса может принимать значение в пределах от 0 до 255. Четыре части объединяют в запись, в которой каждое восьмибитовое значение отделяется точкой. Когда речь идет о сетевом адресе, то обычно имеется в виду IP-адрес.

Если бы использовались все 32 бита в IP-адресе, то получилось бы свыше четырех миллиардов возможных адресов – более чем достаточно для будущего расширения Internet. Однако некоторые комбинации битов зарезервированы для специальных целей, что уменьшает число потенциальных адресов. Кроме того, 8-битные четверки сгруппированы специальными способами в зависимости от типа сети, так что фактическое число адресов еще меньше.

С понятием IP-адреса тесно связано понятие хоста (host). Некоторые просто отождествляют понятие хоста с понятием компьютера, подключенного к Internet. В принципе, это так, но в общем случае под хостом понимается любое устройство, использующее протокол TCP/IP для общения с другим оборудованием. То есть кроме компьютеров, это могут быть специальные сетевые устройства – маршрутизаторы (routers), концентраторы (hubs) и другие. Эти устройства также обладают своими уникальными IP-адресами, – как и компьютеры узлов сети пользователей.

Любой IP-адрес состоит из двух частей: адреса сети (идентификатора сети, Network ID) и адреса хоста (идентификатора хоста, Host ID) в этой сети. Благодаря такой структуре IP-адреса компьютеров в разных сетях могут иметь одинаковые номера. Но так как адреса сетей различны, то эти компьютеры идентифицируются однозначно и не могут быть перепутаны друг с другом.

IP-адреса выделяются в зависимости от размеров организации и типа ее деятельности. Если это небольшая организация, то, скорее всего в ее сети немного компьютеров (следовательно, IP-адресов). Напротив, у большой корпорации могут быть тысячи (а то и больше) компьютеров, объединенных во множество соединенных между собой локальных сетей. Для обеспечения максимальной гибкости IP-адреса разделяются на классы: А, В и С. Еще существуют классы D и E, но они используются для специфических служебных целей.

Итак, три класса IP-адресов позволяют распределять их в зависимости от размера сети организации. Поскольку 32 бита – допустимый полный размер IP-адреса, то классы разбивают четыре 8-битные части адреса на адрес сети и адрес хоста в зависимости от класса.

Адрес сети класса А определяется первым октетом IP-адреса (считается слева направо). Значение первого октета, находящееся в пределах 1-126, зарезервировано для гигантских транснациональных корпорации и крупнейших провайдеров. Таким образом, в классе А в мире может существовать всего лишь 126 крупных компаний, каждая из которых может содержать почти 17 миллионов компьютеров.

Класс В использует 2 первых октета в качестве адреса сети, значение первого октета может принимать значение в пределах 128–191. В каждой сети класса В может быть около 65 тысяч компьютеров, и такие сети имеют крупнейшие университеты и другие большие организации.

Соответственно, в классе С под адрес сети отводится уже три первых октета, а значение первого октета может быть в пределах 192–223. Это самые распространенные сети, их число может превышать более двух миллионов, а число компьютеров (хостов) в каждой сети – до 254. Следует отметить, что «разрывы» в допустимых значениях первого октета между классами сетей появляются из-за того, что один или несколько битов зарезервированы в начале IP-адреса для идентификации класса.

Если любой IP-адрес символически обозначить как набор октетов w.x.y.z, то структуру для сетей различных классов можно представить в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Структура IP-адресов в сетях различных классов

Класс сети	Значение первого октета (W)	Оклеты номера сети	Оклеты номера хоста	Число возможных сетей	Число хостов в таких сетях
A	1–126	w	xyz	$128(2^7)$	$16777214(2^{24})$
B	128–191	wx	yz	$16384(2^{14})$	$65536(2^{16})$
C	192–233	wxy	z	$2097151(2^{21})$	$254(2^8)$

Всякий раз, когда посылается сообщение какому-либо хост-компьютеру в Internet, IP-адрес используется для указания адреса отправителя и получателя. Конечно, пользователям не придется самим запоминать все IP-адреса, так как для этого существует специальный сервис TCP/IP, называемый Domain Name System (Доменная система имен).

### Понятие маски подсети

Для того чтобы отделить идентификатор сети от идентификатора хоста, применяется специальное 32-битное число, называемое маской подсети (subnet mask). Чисто внешне маска подсети представляет собой точно такой же набор из четырех октетов, разделенных между собой точками, как и любой IP-адрес. В табл. 2.4 приведены значения маски подсети для сетей класса A, B, C, используемые по умолчанию.

Таблица 2.4

Значение маски подсети (по умолчанию)

Класс сети	Значение маски в битах (двоичное представление)	Значение маски в десятичном виде
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0

Маска применяется также для логического разделения больших IP-сетей на ряд подсетей меньшего масштаба. Представим, к примеру, что в Сибирском Федеральном Университете, обладающем сетью класса B, имеется 10 факультетов и в каждом из них установлено по 200 компьютеров (хостов). Применяв маску подсети 255.255.0.0, эту сеть можно разделить на 254 отдельных подсетей с числом хостов до 254 в каждой.

Значения маски подсети, применяемые по умолчанию, не являются единственно возможными. К примеру, системный администратор конкретной IP-сети может использовать и другое значение маски подсети для выделения лишь некоторых бит в октете идентификатора хоста.

### ***Беспроводные сети на основе службы gprs***

GPRS (General Packet Radio Service) – технология пакетной передачи данных посредством сотовой связи.

Суть услуги заключается в организации постоянного подключения через GPRS-телефон или GPRS модем к сети Интернет. Для работы в сети можно использовать компьютер, ноутбук или электронный органайзер (Palm Pilot, Psion, Cassiopea). При этом вы сможете просматривать HTML-страницы, перекачивать файлы, работать с электронной почтой и любыми другими ресурсами интернета.

Чем привлекательна эта технология?

– GPRS предоставляет немедленный доступ к услугам, без необходимости дозваниваться к интернет-провайдеру.

– Пользователи GPRS получают доступ к интернету в полном объеме, как при проводном соединении.

– Можно работать с WAP-сайтами непосредственно с телефонного аппарата GPRS.

– Оплачивается только объем посланной/полученной информации, а не эфирное время. До сих пор в сотовых сетях для передачи или приема данных абонентом занимался целый канал на время от установления соединения до его разрыва, которое оплачивалось вне зависимости от его загрузки.

– В GPRS максимально возможная скорость передачи данных составляет 171,2 Кбит/с – это более чем в 3 раза быстрее режима работы проводных линий и почти в 12 раз быстрее работы передачи данных в обычных сетях GSM (9,6 кбит/с). Уже сегодня доступна скорость до 33 Кбит/с.

## **Передача данных: gprs и gsm**

В настоящее время передача данных по GSM-каналам организована следующим образом: абоненту выделяется отдельный канал, используемый системой для передачи голоса, посредством модема, встроенного в мобильный терминал, происходит передача данных через этот канал, при этом в промежутках между передачей данных канал остается занятым. GPRS (General packet Radio Service) – это система, которая реализует и поддерживает протокол пакетной передачи информации в рамках сети сотовой связи GSM. При использовании системы GPRS информация собирается в пакеты и передается в эфир, они заполняют те «пустоты» (не используемые в данный момент голосовые каналы), которые всегда есть в промежутках между разговорами абонентов, а использование сразу нескольких голосовых каналов обеспечивает высокие скорости передачи данных. При этом этап установления соединения занимает несколько секунд. В этом и заключается принципиальное отличие режима пакетной передачи данных. В результате у абонента появляется возможность передавать данные, не занимая каналы в промежутках между передачей данных, более эффективно используются ресурсы сети.

### **Что дает абоненту технология gprs?**

GPRS позволит ввести принципиально новые услуги, которые раньше не были доступны. Прежде всего, это мобильный доступ к ресурсам интернета с удовлетворяющей потребителя скоростью, мгновенным соединением и с очень выгодной системой тарификации. Например, при просмотре с помощью системы GPRS web-страницы в интернете, мы можем изучать содержимое столько, сколько нам необходимо, поскольку платим только за принятую информацию и не платим за время нахождения в сети Интернет (не передавая данные, мы не занимаем каналы сети). При введении повременной оплаты на фиксированных телефонных линиях, тарифы на доступ в интернет с мобильного GPRS-телефона будут еще более конкурентоспособны.

Технология GPRS позволит быстро передавать и получать большие объемы данных, видеоизображения, музыкальные файлы стандарта Mp-3 и другую мультимедийную информацию.

Для тех абонентов, кто уже оценил удобство использования телефонов с WAP-браузером, внедрение технологии GPRS означает

практически мгновенную загрузку WAP-страниц на экране телефона и более выгодную систему тарификации.

Для корпоративных пользователей система GPRS может послужить отличным инструментом для обеспечения безопасного и быстрого доступа сотрудников к корпоративным сетям предприятий, к почтовым, информационным серверам, удаленным базам данных. При этом появится возможность получать доступ к корпоративным сетям, даже если абонент находится в сети другого GSM-оператора, с которым организован GPRS-роуминг.

Технологии GPRS может применяться в системах телеметрии: устройство может быть все время подключено, не занимая при этом отдельный канал. Такая услуга может быть востребована службами охраны, банками для подключения банкоматов и в других областях, в том числе и промышленных.

### **Принципы построения системы gprs**

На структурном уровне систему GPRS можно разделить на 2 части: подсистему базовых станций и ядро сети GPRS (GPRS Core Network). В подсистему базовых станций входят все контроллеры и базовые станции системы GSM, которые поддерживают пакетную передачу данных на программном и аппаратном уровнях. Ядро сети GPRS включает в себя совершенно новые сетевые элементы, предназначенные для обработки пакетов данных и обеспечения связи с сетью Интернет.

Основным сетевым элементом является пакетный коммутатор – SGSN (Serving GPRS Support Node). Данный сетевой элемент берет на себя все функции обработки пакетной информации и преобразования кадров GSM в форматы, используемые протоколами TCP/IP глобальной компьютерной сети Internet. Пакетный коммутатор призван разгрузить GSM-коммутатор, обеспечивая обработку пакетной информации, оставляя обычному коммутатору лишь головной трафик.

Вторым важным сетевым элементом является GPRS шлюз – GGSN (Gateway GPRS Support Node). Он обеспечивает связь системы GPRS с пакетными сетями передачи данных: Internet, Intranet, X.25 и др. GGSN содержит всю необходимую информацию о сетях, куда абоненты GPRS могут получать доступ, а также параметры соединения.

Кроме упомянутых элементов в GPRS Core входят другие элементы: DNS (Сервер доменных имен), Charging Gateway (Шлюз



для связи с системой тарификации), border Gateway (Пограничный шлюз) и другие вспомогательные элементы.

Следует отметить широкие возможности масштабирования системы GPRS. При быстром увеличении количества абонентов, пользующихся услугой пакетной передачи данных, возможно увеличение емкости системы GPRS за счет расширения или установки дополнительных пакетных коммутаторов (SGSN). При увеличении суммарного объема данных, передаваемых абонентами (при несущественном увеличении числа абонентов), возможна установка дополнительных GPRS-шлюзов, которые обеспечат большую суммарную пропускную способность всей системы, а также расширение системы базовых станций. Таким образом, наращивая систему GPRS, оператор сможет обеспечивать высокое качество услуг, основанных на пакетной передаче данных.

### **Применение GSM/GPRS-технологий для построения эффективных АСУ ТП**

Современная экономика требует от предприятий развития внешнеэкономических связей. Управляющее звено предприятия постоянно находится в разъездах, поэтому не всегда может следить за ходом всех событий, которые происходят на его хозяйственном объекте. Это усложняет эффективность управление предприятием. Однако современная наука и технологии не стоят на месте. Теперь стало возможным установка удаленного доступа к центральному диспетчерскому пункту управления АСУ ТП предприятия с помощью GSM/GPRS технологий. Именно они позволяют управлять предприятием из любой точки мира. Открытость SCADA-программы тем и хороша, что ее всегда легко адаптировать к различным новшествам, в том числе и к данной технологии, GSM/GPRS технологии позволяют передавать на расстоянии не только голос человека, но и данные. Главное достоинство их в том, что они могут полностью обеспечить достоверность передаваемой информации, а также ее надежность, высокую скорость обмена данных. Такие возможности дают свободу действия управленческому звену предприятия, вот почему они так сильно заинтересовались внедрением GSM/GPRS технологий в собственные АСУ ТП.

GSM-связь очень сильно выручает в том случае, если передача информационных данных в какой-то момент невозможна через существующие радиочастотные системы обмена.

В настоящий момент на предприятиях GSM/GPRS-технологии внедряются в различные свободно программируемые контроллеры. Простота и легкость управления мобильным телефоном делает работу на современной автоматизированной системе управления намного проще. Теперь перед операторами появляется новый интерфейс, созданный на базе GSM/GPRS-технологий.

Еще один плюс, который GSM/GPRS-технологии вносят в АСУ ТП предприятия, – это низкая стоимость монтажа, настройки и обслуживания данных технологий. Они позволяют существенно экономить затраты, как материальных, так и человеческих ресурсов.

На сегодняшний день GSM/GPRS-технологии в АСУ ТП используют такие предприятия, как котельные станции, трансформационные, отопительные и т. д.

### **Применение АСУ ТП с использованием сетей GSM/GPRS:**

1. Мониторинг. Нужная информация о текущем состоянии технологического процесса, в том числе сигналы тревог, аварий, обрабатывается SCADA-программой. Далее она форматируется под SMS-сообщение и через GSM-модем передается на мобильный телефон оператора диспетчерского пункта.

2. Удаленная консоль, которая представлена обычным сотовым телефоном. С помощью его клавиатуры создается сообщение-запрос на поиск нужной информации или управление ею.

3. Телемеханика состоит из нескольких контроллеров или, другими словами, операторских станций. Они работают под началом внедренной на предприятии SCADA-системы. Эти контроллеры обмениваются информационными данными только посредством GSM-модемом.

Современные GSM/GPRS-технологии работают на базе цифрового стандарта. Это позволяет не только получить качественное изображение, но и снизить возможные помехи. Качество передачи информации напрямую зависит от того, какая высота радиотрансляционной и радиоприемной антенн, есть ли на пути какие-либо помехи. Если такие сложности есть, то их нужно решать только у провайдеров, которые предоставляют сотовую связь. А так качество GSM-связи очень хорошее.

Сотовая связь позволила сделать использование АСУ ТП более доступной даже для небольших производств. Это очень эффективная цифровая система, предназначенная для обмена информацией между объектами на неограниченном расстоянии.

Эффект от использования технологий беспроводной передачи данных в системах промышленной автоматике, на первый взгляд, очевиден – экономия материальных и человеческих ресурсов, снижение убытков от простоя оборудования, увеличение точности измерений. Однако этот стандарт передачи данных, кроме явных преимуществ, имеет также целый ряд ограничений. Например, использование GSM/GPRS-технологий не подходит для потоков данных, критичных ко времени доставки. Поэтому сотовую связь не рекомендуется использовать при построении ответственных управляющих систем, тем более систем управления реального времени. В первую очередь, это связано с тем, что качество сотовой связи зависит от загруженности сети, удаленности от базовых станций, количества активных абонентов сети.

В то же время, в промышленной автоматизации есть целый ряд задач, не подразумевающих передачи больших объемов данных с высокой скоростью. Это задачи диспетчеризации и удаленного контроля технологических процессов. На практике такие системы беспроводного мониторинга чаще всего строятся на базе промышленных GSM/GPRS модемов.

Основные режимы передачи данных, которые предлагают отечественные операторы сотовой связи GSM:

- CSD (голосовые каналы связи);
- GPRS (пакетная передача данных);
- SMS (обмен короткими сообщениями).

Рассмотрим коротко эти три технологии:

### **Технология CSD**

С точки зрения пользователя, механизм передачи данных по сетям сотовой связи с использованием режима CSD аналогичен передаче данных по телефонным модемам фиксированной связи. Более того, допустимым является построение канала, на одном конце которого установлен GSM-модем, а на другом – терминал проводной телефонной связи. Технология CSD обеспечивает прозрачный канал передачи данных, но требует предварительной установки соединения (установка производится с помощью AT-команд). Функции CSD реализованы в модемы MOXA серии OnCell G2100.

### **Технология SMS**

Технология обмена короткими сообщениями SMS подразумевает передачу пакетов данных объемом до 140 байт. SMS может

применяться как в мобильных телефонах, так и в большинстве GSM-модемов. Для передачи сообщения через модем используется AT-команда AT+CMGS (рис. 2.24; 2.25).



Рис. 2.24. «Классическая» топология системы удаленного управления оборудованием по сетям GSM



Рис. 2.25. Автоматическая установка резервной GSM-связи при использовании «интеллектуального» модема

## Технология GPRS

При использовании технологии GPRS информация собирается в пакеты и передается через неиспользуемые в данный момент голосовые каналы связи. Как правило, GPRS-пакеты имеют IP-формат, поэтому адресация устройств GPRS осуществляется не по телефонному номеру абонента, а по IP-адресу, тарификация данных производится не по времени соединения, а по объему переданных данных. Технология GPRS позволяет использовать

несколько голосовых каналов одновременно, т. е. передавать данные со скоростью гораздо большей, чем в режиме CSD. Однако многие мобильные операторы в России используют приоритет голосового трафика перед данными, поэтому скорость GPRS-передачи существенно зависит от загрузки сети в данный момент.

Стоит отметить, что, поскольку пакеты GPRS имеют формат IP, то данные последовательных интерфейсов RS-232/422/485 перед передачей должны быть преобразованы в TCP/IP. Поддержка стека TCP/IP может осуществляться как окончательным оборудованием, так и модемами. Преимущества модемов серии OnCell G3100 в том, что в них реализован стек TCP/IP, поэтому все задачи по упаковке данных выполняет сам модем. Соответственно, к устройствам G3100 можно подключать любое оборудование с последовательным интерфейсом, в том числе изначально не предназначенное для работы с модемами.

Передача данных по GPRS TCP/IP может осуществляться в двух основных режимах: «парное соединение» или «эмуляция виртуального СОМ-порта». При парном соединении используются два модема G3100: данные, приходящие в один модем, «прозрачно» передаются на другой, и наоборот. При эмуляции виртуального СОМ-порта модем может исполнять роль удаленного последовательного порта компьютера. При этом компьютер необходимо подключить к интернету (или к VPN-сети оператора сотовой связи), а на компьютере установить драйвер. После выполнения этих несложных процедур любое программное обеспечение компьютера будет взаимодействовать с удаленным модемом так же, как и с «родным» СОМ-портом.

### **Технология CSD**

Важным преимуществом применения CSD является гарантированная стандартном GSM пропускная способность канала – 9,6 Кбит/сек. Так, результаты передачи больших объемов данных через модемы на скоростях 9600 бит/сек. показали возможность стабильно передавать данные с пропускной способностью 1021 байт/сек, при этом задержка передачи составила порядка 0,6 сек.

Технология CSD обеспечивает прозрачный и скоростной канал передачи данных, но требует предварительной установки соединения. Это накладывает определенные ограничения на применение CSD: оборудование, использующее этот канал связи, должно поддерживать

функции работы с модемами и в нужный момент выдавать команды на установку/разрыв соединения. Тарификация передачи данных производится на повременной основе и, в зависимости от сотового оператора и тарифного плана, составляет в среднем от 1 до 3 руб. за минуту.

Показанные результаты позволяют использовать CSD-канал в задачах оперативного управления – для удаленной настройки оборудования, консольного управления, программирования контроллеров, опроса данных с удаленных счетчиков, датчиков, устройств УСПД.

Значительная часть приложений, работающих в компьютерах сети, являются сетевыми, но, конечно, не все. Действительно, ничто не мешает пользователю запустить на своем компьютере полностью локальное приложение, не использующее имеющиеся сетевые коммуникационные возможности. Достаточно типичным является сетевое приложение, состоящее из двух частей. Например, одна часть приложения работает на компьютере, хранящем базу данных большого объема, а вторая – на компьютере пользователя, который хочет видеть на экране некоторые статистические характеристики данных, хранящихся в базе. Первая часть приложения выполняет поиск в базе записей, отвечающих определенным критериям, а вторая занимается статистической обработкой этих данных, представлением их в графической форме на экране, а также поддерживает диалог с пользователем, принимая от него новые запросы на вычисление тех или иных статистических характеристик. Можно представить себе случаи, когда приложение распределено и между большим числом компьютеров.

Распределенным в сетях может быть не только прикладное, но и системное программное обеспечение – компоненты операционных систем. Как и в случае локальных служб, программы, которые выполняют некоторые общие и часто встречающиеся в распределенных системах функции, обычно становятся частями операционных систем и называются сетевыми службами.

Целесообразно выделить три основных параметра организации работы приложений в сети. К ним относятся:

- способ разделения приложения на части, выполняющиеся на разных компьютерах сети;
- выделение специализированных серверов в сети, на которых выполняются некоторые общие для всех приложений функции;

– способ взаимодействия между частями приложений, работающих на разных компьютерах.

### **Способ разделения приложений на части**

Очевидно, что можно предложить различные схемы разделения приложений на части, причем для каждого конкретного приложения можно предложить свою схему. Существуют и типовые модели распределенных приложений. В следующей достаточно детальной модели предлагается разделить приложение на шесть функциональных частей:

– средства представления данных на экране, например, средства графического пользовательского интерфейса;

– логика представления данных на экране описывает правила и возможные сценарии взаимодействия пользователя с приложением: выбор из системы меню, выбор элемента из списка и т. п.;

– прикладная логика – набор правил для принятия решений, вычислительные процедуры и операции;

– логика данных – операции с данными, хранящимися в некоторой базе, которые нужно выполнить для реализации прикладной логики;

– внутренние операции базы данных – действия СУБД, вызываемые в ответ на выполнение запросов логики данных, такие как поиск записи по определенным признакам;

– файловые операции – стандартные операции над файлами и файловой системой, которые обычно являются функциями операционной системы.

### **Двухзвенные схемы**

Распределение приложения между большим числом компьютеров может повысить качество его выполнения (скорость, количество одновременно обслуживаемых пользователей и т. д.), но при этом существенно усложняется организация самого приложения, что может просто не позволить воспользоваться потенциальными преимуществами распределенной обработки. Поэтому на практике приложение обычно разделяют на две или три части и достаточно редко – на большее число частей. Наиболее распространенной является двухзвенная схема, распределяющая приложение между двумя компьютерами. Перечисленные выше типовые функциональные части приложения можно разделить между двумя компьютерами различными способами.

Рассмотрим сначала два крайних случая двухзвенной схемы, когда нагрузка в основном ложится на один узел – либо на центральный компьютер, либо на клиентскую машину.

В централизованной схеме компьютер пользователя работает как терминал, выполняющий лишь функции представления данных, тогда как все остальные функции передаются центральному компьютеру. Ресурсы компьютера пользователя используются в этой схеме в незначительной степени, загруженными оказываются только графические средства подсистемы ввода-вывода ОС, отображающие на экране окна и другие графические примитивы по командам центрального компьютера, а также сетевые средства ОС, принимающие из сети команды центрального компьютера и возвращающие данные о нажатии клавиш и координатах мыши. Программа, работающая на компьютере пользователя, часто называется эмулятором терминала – графическим или текстовым, в зависимости от поддерживаемого режима. Фактически эта схема повторяет организацию многотерминальной системы на базе мэйнфрейма с тем лишь отличием, что вместо терминалов используются компьютеры, подключенные не через локальный интерфейс, а через сеть, локальную или глобальную (рис. 2.26).

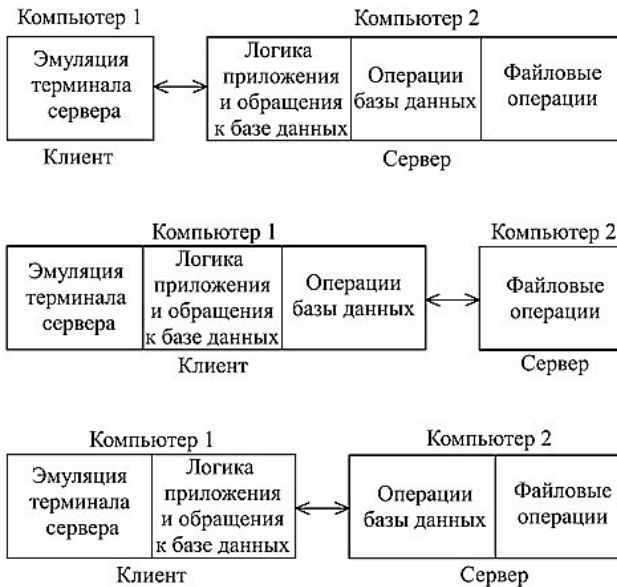


Рис. 2.26. Варианты распределения частей приложения по двухзвенной схеме



Главным и очень серьезным недостатком централизованной схемы является ее недостаточная масштабируемость и отсутствие отказоустойчивости. Производительность центрального компьютера всегда будет ограничителем количества пользователей, работающих с данным приложением, а отказ центрального компьютера приводит к прекращению работы всех пользователей. Именно из-за этих недостатков централизованные вычислительные системы, представленные мэйнфреймами, уступили место сетям, состоящим из мини-компьютеров, RISC-серверов и персональных компьютеров. Тем не менее, централизованная схема иногда применяется как из-за простоты организации программы, которая почти целиком работает на одном компьютере, так и из-за наличия большого парка не распределенных приложений.

В схеме «файловый сервер» на клиентской машине выполняются все части приложения, кроме файловых операций. В сети имеется достаточно мощный компьютер, имеющий дисковую подсистему большого объема, который хранит файлы, доступ к которым необходим большому числу пользователей. Этот компьютер играет роль файлового сервера, представляя собой централизованное хранилище данных, находящихся в разделяемом доступе. Распределенное приложение в этой схеме мало отличается от полностью локального приложения. Единственным отличием является обращение к удаленным файлам вместо локальных. Для того чтобы в этой схеме можно было использовать локальные приложения, в сетевые операционные системы ввели такой компонент сетевой файловой службы, как редиректор, который перехватывает обращения к удаленным файлам (с помощью специальной нотации для сетевых имен, такой, например, как //server 1/doc/filet.txt) и направляет запросы в сеть, освобождая приложение от необходимости явно задействовать сетевые системные вызовы.

Файловый сервер представляет собой компонент наиболее популярной сетевой службы – сетевой файловой системы, которая лежит в основе многих распределенных приложений и некоторых других сетевых служб. Первые сетевые ОС (NetWare компании Novell, IBM PC LAN Program, Microsoft MS-Net) обычно поддерживали две сетевые службы – файловую службу и службу печати, оставляя реализацию остальных функций разработчикам распределенных приложений.

Такая схема обладает хорошей масштабируемостью, так как дополнительные пользователи и приложения добавляют лишь незначительную нагрузку на центральный узел – файловый сервер. Однако эта архитектура имеет и свои недостатки:

- во многих случаях резко возрастает сетевая нагрузка (например, многочисленные запросы к базе данных могут приводить к загрузке всей базы данных в клиентскую машину для последующего локального поиска нужных записей), что приводит к увеличению времени реакции приложения;

- компьютер клиента должен обладать высокой вычислительной мощностью, чтобы справляться с представлением данных, логикой приложения, логикой данных и поддержкой операций базы данных.

Другие варианты двухзвенной модели более равномерно распределяют функции между клиентской и серверной частями системы. Наиболее часто используется схема, в которой на серверный компьютер возлагаются функции проведения внутренних операций базы данных и файловых операций. Клиентский компьютер при этом выполняет функции, специфические для данного приложения, а сервер – функции, реализация которых не зависит от специфики приложения, из-за чего эти функции могут быть оформлены в виде сетевых служб. Поскольку функции управления базами данных нужны далеко не всем приложениям, то в отличие от файловой системы они чаще всего не реализуются в виде службы сетевой ОС, а являются независимой распределенной прикладной системой. Система управления базами данных (СУБД) является одним из наиболее часто применяемых в сетях распределенных приложений. Не все СУБД являются распределенными, но практически все мощные СУБД\*, позволяющие поддерживать большое число сетевых пользователей, построены в соответствии с описанной моделью клиент-сервер. Сам термин «клиент-сервер» справедлив для любой двухзвенной схемы распределения функций, но исторически он оказался наиболее тесно связанным со схемой, в которой сервер выполняет функции по управлению базами данных (и, конечно, файлами, в которых хранятся эти базы) и часто используется как синоним этой схемы.

### **Трехзвенные схемы**

Трехзвенная архитектура позволяет еще лучше сбалансировать нагрузку на различные компьютеры в сети, а также способствует дальнейшей специализации серверов и средств разработки

распределенных приложений. Примером трехзвенной архитектуры может служить такая организация приложения, при которой на клиентской машине выполняются средства представления и логика представления, а также поддерживается программный интерфейс для вызова частей приложения второго звена – промежуточного сервера.

Промежуточный сервер называют в этом варианте сервером приложений, так как на нем выполняются прикладная логика и логика обработки данных, представляющих собой наиболее специфические и важные части большинства приложений. Слой логики обработки данных вызывает внутренние операции базы данных, которые реализуются третьим звеном схемы – сервером баз данных.

Сервер баз данных, как и в двухзвенной модели, выполняет функции двух последних слоев – операции внутри базы данных и файловые операции. Примером такой схемы может служить неоднородная архитектура, включающая клиентские компьютеры под управлением Windows 95/98, сервер приложений с монитором транзакций TUXEDO в среде Solaris на компьютере компании Sua Microsystems и сервер баз данных Oracle в среде Windows 2000 на компьютере компании Compaq (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Трехзвенная схема распределения частей приложения

Централизованная реализация логики приложения решает проблему недостаточной вычислительной мощности клиентских компьютеров для сложных приложений, а также упрощает администрирование и сопровождение. В том случае, когда сервер приложений сам становится узким местом, в сети можно применить несколько серверов приложений, распределив каким-то образом запросы пользователей между ними. Упрощается и разработка крупных приложений, так как в этом случае четко разделяются

платформы и инструменты для реализации интерфейса и прикладной логики, что позволяет с наибольшей эффективностью реализовывать их силами специалистов узкого профиля.

Монитор транзакций представляет собой популярный пример программного обеспечения, не входящего в состав сетевой ОС, но выполняющего функции, полезные для большого количества приложений. Такой монитор управляет транзакциями с базой данных и поддерживает целостность распределенной базы данных.

Трехзвенные, схемы часто применяются для централизованной реализации в сети некоторых общих для распределенных приложений функций, отличных от файлового сервиса и управления базами данных, Программные модули, выполняющие такие функции, относятся к классу middleware – то есть промежуточному слою, располагающемуся между индивидуальной для каждого приложения логикой и сервером баз данных.

В крупных сетях для связи клиентских и серверных частей приложений также используется и ряд других средств, относящихся к классу middleware, в том числе:

- средства асинхронной обработки сообщений (message-oriented middleware, MOM); -
- средства удаленного вызова процедур (Remote Procedure Call, RPC);
- брокеры запроса объектов (Object Request Broker, ORB), которые находят объекты, хранящиеся на различных компьютерах, и помогают их использовать в одном приложении или документе.

Эти средства помогают улучшить качество взаимодействия клиентов с серверами за счет промышленной реализации достаточно важных и сложных функций, а также упорядочить поток запросов от множества клиентов к множеству серверов, играя роль регулятора, распределяющего нагрузку на серверы.

Сервер приложений должен базироваться на мощной аппаратной платформе (мультипроцессорные системы, специализированные кластерные архитектуры). ОС сервера приложений должна обеспечивать высокую производительность вычислений, а значит, поддерживать многопоточную обработку, вытесняющую многозадачность, мультипроцессирование, виртуальную память и наиболее популярные прикладные среды.

### Схема «файл-сервер»

В архитектуре «файл-сервер» (File Server, FS-модель) все основные функции приложения информационной системы (презентационная логика, бизнес-логика и функции обработки и управления данными) располагаются на клиенте (рис. 2.28).

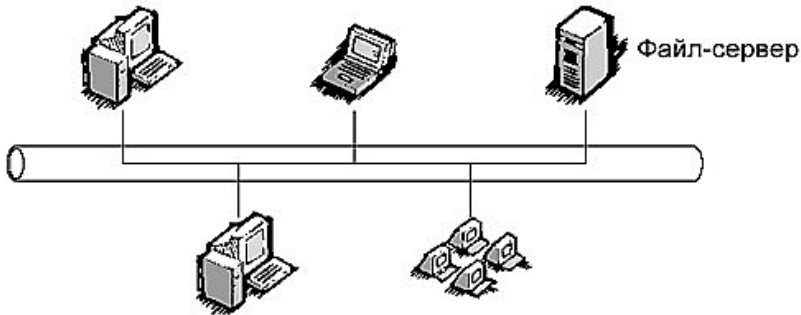


Рис. 2.28. Схема «файл-сервер»

На сервере находятся файлы с данными и поддерживается доступ к файлам.

В этой модели клиент обращается к серверу на уровне файловых команд, система управления файлами (СУФ) считывает запрашиваемые данные из БД и поблочно передает эти данные клиентскому приложению. Фактически, FS-модель предполагает автономную работу программного обеспечения ИС на разных машинах в сети. Компоненты ИС взаимодействуют только за счет наличия общего хранилища данных. Безусловно, таким хранилищем должна быть хорошо спроектированная БД под управлением СУБД, поддерживающей FS-модель, например, СУБД Informix SE. Такого рода СУБД нельзя считать «истинным сервером».

При использовании FS-модели копия СУБД создается для каждого инициированного пользователем сеанса работы с СУБД, которая выполняется на том же процессоре, что и пользовательский процесс.

В целом в архитектуре ИС «файл-сервер» мы имеем «толстого» клиента и очень «тонкий» сервер в том смысле, что почти вся работа выполняется на стороне клиента, а от сервера требуется только достаточная емкость дисковой памяти.

К недостаткам архитектуры «файл–сервер» можно отнести:

- высокий сетевой трафик, который связан с передачей по сети множества блоков и файлов, необходимых приложениям клиентов;
- ограниченное множество команд манипулирования данными, фактически это только файловые команды;
- отсутствие развитых средств защиты данных (только на уровне файловой системы).

К несомненным достоинствам следует отнести высокую эффективность работы с небольшими объемами данных в однопользовательском режиме, например, для ведения кадрового учета небольшой организации.

FS-модель не отвечает современным представлениям о технологии «клиент–сервер» в общепринятом смысле, поэтому этот способ организации распределенных вычислений рассматривается как отдельная архитектура файлового сервера.

### **Архитектура «клиент–сервер»**

Термин клиент–сервер столь часто используется, что и разработчики, и пользователи путаются в рекламной шумихе. Попросту говоря, клиент–сервер – это уже хорошо знакомая нам модель обработки.

Наиболее простая форма архитектуры клиент–сервер – это разделение вычислительной нагрузки между двумя отдельными процессами: клиентом и сервером. Хотя и клиент, и сервер могут находиться на одном и том же компьютере, большинство систем этой архитектуры запускают клиентский процесс на одном компьютере, а процесс–сервер на другом, используя для обмена информацией сетевые связи. В этой модели один процесс может работать независимо от другого, выполнять определенные задания и разделять вычислительную нагрузку.

Обычно клиентом служит настольный ПК, выполняющий программное обеспечение конечного пользователя. Программное обеспечение (ПО) конечного пользователя (front–end software) – это любая прикладная программа или пакет, способные направлять запросы по сети серверу и обрабатывать получаемую в ответ информацию. Сервер, в свою очередь, получает запросы и предпринимает действия от имени клиента.

ПК, работающий под управлением Windows 95 и выполняющий программу клиент–сервер Delphi, например, может представить

на рассмотрение запрос серверу баз данных (скажем, программе Oracle7, редакция 7.2, запущенной на сервере Windows NT). Обычно клиент посылает запросы базе данных в виде предложений на языке структурированных запросов (SQL), используя понятный серверу базы данных диалект.

Промежуточное обеспечение (middleware) предоставляет общий интерфейс для ПО конечного пользователя и сервера, проникающий сквозь слои ГИП, ОС, вычислительной сети и собственных драйверов базы данных с помощью общих вызовов. Для завершения операции сервер базы данных выполняет запрос и передает клиенту затребованные данные для обработки их программой клиента.

### **Серверы баз данных**

Сердце большинства систем клиент–сервер – серверы баз данных, обеспечивающие надежный доступ к разделяемым данным для программ-клиентов, которые обращаются к функциям СУБД. Обычно клиенты по вычислительной сети посылают запросы серверу в форме предложений на языке SQL. Сервер интерпретирует их и пересылает соответствующие данные обратно клиенту.

Серверы реляционных и нереляционных баз данных могут быть различного вида и масштабов. Большинство программ-серверов баз данных: такие, как Oracle7 и Sybase System 11 – выполняются на выделенных машинах. При этом серверы баз данных работают на разнообразных процессорах и в различных операционных средах. Следовательно, у создателей систем клиент-сервер имеется выбор для удовлетворения потребностей прикладных программ. Oracle, например, работает на большинстве RISC- и CISC-ориентированных Unix-системах, включая HP/UX фирмы Hewlett-Packard и Solaris компании Sun. Кроме того, Oracle выполняется на серверах, использующих процессоры Intel под управлением SCO Unix и Netware компании Novell.

Некоторые изготовители серверов баз данных, такие как компании Borland (Interbase) и Sybase (SQL Server), предоставляют версии своих серверов для запуска на системах-клиентах (например, в процессах Microsoft Windows 3.1 или Windows 95). Это позволяет разработчику систем клиент-сервер создавать клиентскую часть программ, избежав необходимости немедленной покупки отдельного сервера баз данных.

Серверы реляционных баз данных (известные так же как SQL-серверы или SQL-процессоры) составляют большинство применяемых в настоящее время серверов. Однако в нескольких секторах рынка их догоняют объектно-ориентированные и многомерные серверы баз данных.

Серверы объектно-ориентированных баз данных, такие как GemStone компании GemStone Systems, хранят информацию в форме объектов, что больше подходит для средств разработки программ-клиентов, которые работают с чисто объектной моделью.

Более того, в объектно-ориентированных СУБД лучше, чем в реляционных, организовано хранение сложных структур данных. Серверы многомерных баз данных, такие как Essbase Analysis Server фирмы Arbor Software Corp, обеспечивают более понятное конечным пользователям представление данных и обладают новыми средствами оперативного анализа (OLAP).

### **Функции сервера**

Серверы баз данных занимаются не только обслуживанием данных. В них предусмотрены также механизмы блокировок и элементы управления многопользовательским доступом, которые обеспечивают защиту данных от опасности параллельного доступа. Кроме этого, серверу баз данных приходится ограждать данные от несанкционированного доступа, оптимизировать запросы к базе данных, обеспечивать кэширование и предоставлять место для размещения словаря данных.

Две другие важные особенности, на которые стоит обратить внимание, – способность сервера обеспечивать целостность ссылочных данных и обоюдный контроль завершения транзакции. Ссылочная целостность данных (referential integrity) – это механизм, обеспечивающий каждому внешнему ключу соответствующий первичный ключ. Обоюдный контроль завершения транзакций (two-phase commit) – гарантия того, что ваши данные не будут повреждены даже при аппаратном сбое.

С помощью хранимых процедур, триггеров и правил разработчики могут составить программу непосредственно самого сервера баз данных и, таким образом, появляется еще одно место для размещения логики программы. Хранимые процедуры (stored procedures) – это группа предложений на языке SQL и процедурная логика, которые разработчики могут компилировать и хранить



на сервере баз данных в качестве объектов. Программы-клиенты способны выполнять хранимые процедуры, так же, как и другой вид хранимых процедур или триггеров, путем посылки сообщений серверу баз данных.

Триггеры (triggers) – это хранимые процедуры, которые активизируются автоматически, как только серверу баз данных встречается связанное с данными событие. Правило (rule) – это специальный тип триггера, который проверяет данные до внесения их в базу данных.

Большая часть имеющихся на данный момент хранимых процедур, триггеров и правил обладает весьма узкой специализацией и отличающимися возможностями. SQL Server способен запускать только один триггер для операции вставки, в то время как CA-OpenIngres обеспечивает работу нескольких триггеров. Более того, расширения процедур SQL у разных изготовителей разные.

## **2.4. Защита информации**

Много лет тому назад персональные компьютеры (ПК) использовались независимо – словно небольшие островки вычислительной мощности, населяющие столы в домах и офисах. И сам факт того, что на каждом ПК зачастую выполнялась отличная от других версия какой-либо операционной системы или приложения, воспринимался не больше, чем досадная неприятность.

Прошли годы, и сетевая технология принялась за персональные компьютеры, а пользователи стали понимать, что могут работать вместе. Наделение персональных компьютеров способностью взаимодействовать друг с другом открыло огромные возможности для сотрудничества и совместной деятельности. Сегодня компьютерные сети жизненно необходимы для функционирования всех типов бизнеса и встречаются даже в домашних условиях, объединяя несколько ПК. При грамотной инструментовке и конфигурировании компьютерные сети могут быть весьма быстрыми и надежными в работе.

Однако сети могут выходить из строя, и когда случаются неполадки, необходимо выполнить решительные действия по обнаружению и исправлению возникшей проблемы. И если учитывать, что кроме кабелей, концентраторов, маршрутизаторов, коммутаторов

и других сетевых устройств многие компьютерные сети могут включать в себя сотни и даже тысячи ПК, становится понятным, что для эффективного устранения неисправностей требуется нечто большее, чем просто замена персональных компьютеров и других сетевых устройств.

### **Защита от ошибок в передаваемой информации в КС**

Надежность сети связана со способностью передавать достоверно (без ошибок) данные пользователя из одного ООД (оконечное оборудование данных) в другое ООД. Она включает в себя способность восстановления после ошибок или потери данных в сети, включая отказы канала, ООД, АКД (аппаратура окончания канала данных) или ОКД (оборудование коммутации данных). Надежность также связана с техническим обслуживанием системы, которое включает ежедневное тестирование, профилактическое обслуживание, например, замену отказавших или допустивших сбой компонентов; диагностирование неисправности при неполадках. В случае возникновения неполадки с каким-либо компонентом сетевая диагностическая система может легко обнаружить ошибку, локализовать неисправность и, возможно, отключить эту компоненту от сети. Появление ошибок при передаче информации объясняется или посторонними сигналами, всегда присутствующими в каналах, или помехами, вызванными внешними источниками и атмосферными явлениями, или другими причинами. В телефонии искажением считается изменение формы тока в приемном аппарате, а в телеграфии – изменение длительности принимаемых посылок тока по сравнению с передаваемыми посылками.

«Нарушения» или ошибки можно широко классифицировать как случайные, импульсные и смешанные.

Случайные ошибки происходят случайно в блоках принятых данных. Большинство каналов с вещественными носителями (а также спутниковые каналы) подвержены случайным ошибкам.

Каналы с импульсными ошибками демонстрируют состояние, свободное от ошибок, большую часть времени, но иногда появляются групповые или разовые ошибки. Объектом таких ошибок являются радиосигналы, так же как кабели и провода, например, телефонные каналы из витых проводных пар.

Для повышения достоверности и качества работы систем связи применяются групповые методы защиты от ошибок, избыточное

кодирование и системы с обратной связью. На практике часто используют комбинированное сочетание этих способов. К групповым методам защиты от ошибок можно отнести давно уже используемый в телеграфии способ, известный как принцип Вердана: вся информация (или отдельные кодовые комбинации) передается несколько раз, обычно нечетное число раз (минимум три раза). Принимаемая информация запоминается специальным устройством и сравнивается. Суждение о правильности передачи выносится по совпадению большинства из принятой информации методами «два из трех», «три из пяти» и так далее.

Другой метод, также не требующий перекодирования информации, предполагает передачу информации блоками, состоящими из нескольких кодовых комбинаций. В конце каждого блока посылается информация, содержащая количественные характеристики переданного блока, например, число единиц или нулей в блоке. На приемном конце эти характеристики вновь подсчитываются, сравниваются с переданными по каналу связи, и если они совпадают, то блок считается принятым правильно. При несовпадении количественных характеристик на передающую сторону посылается сигнал ошибки.

Среди методов защиты от ошибок наибольшее распространение получило помехоустойчивое кодирование, позволяющее получить более высокие качественные показатели работы систем связи. Его основное назначение – принятие всех возможных мер для того, чтобы вероятность искажений информации была достаточно малой, несмотря на присутствие помех или сбоев в работе сети. Помехоустойчивое кодирование предполагает разработку корректирующих (помехоустойчивых) кодов, обнаруживающих и исправляющих определенного рода ошибки, а также построение и реализацию кодирующих и декодирующих устройств.

При передаче информации в зависимости от системы счисления коды могут быть двухпозиционными и многопозиционными. По степени помехозащищенности двухпозиционные коды делятся на обыкновенные и помехоустойчивые.

Двухпозиционные обыкновенные коды используют для передачи данных все возможные элементы кодовых комбинаций и бывают равномерными, когда длина всех кодовых комбинаций одинакова, например, пятиэлементный телеграфный код, и неравномерными, когда кодовые комбинации состоят из разного числа элементов, например, код Морзе.

В помехоустойчивых кодах, кроме информационных элементов, всегда содержится один или несколько дополнительных элементов, являющихся проверочными и служащих для достижения более высокого качества передачи данных. Наличие в кодах избыточной информации позволяет обнаруживать и исправлять (или только обнаруживать) ошибки.

Выбор корректирующих кодов в определенной степени зависит от требований, предъявляемых к достоверности передачи. Для правильного его выбора необходимо иметь статистические данные о закономерностях возникновения ошибок, их характере, численности и распределении во времени. Так, например, корректирующий код, исправляющий одиночные ошибки, может быть эффективен лишь при условии, что ошибки статистически независимы, а вероятность их появления не превышает некоторой величины. Этот код оказывается совершенно непригодным, если ошибки появляются группами (пачками). Рекуррентные коды, исправляющие групповые ошибки, также могут оказаться неэффективными, если количество ошибок при передаче будет больше допустимой нормы.

Разработанные различные корректирующие коды подразделяются на непрерывные и блочные. В непрерывных, или рекуррентных, кодах контрольные элементы располагаются между информационными. В блочных кодах информация кодируется, передается и декодируется отдельными группами (блоками) равной длины. Блочные коды бывают разделимые (все информационные и контрольные элементы размещаются на строго определенных позициях) и неразделимые (элементы кодовой комбинации не имеют четкого деления на избыточные и информационные). К неразделимым относится код с постоянным числом нулей и единиц.

Разделимые коды состоят из систематических и несистематических. В систематических кодах проверочные символы образуются с помощью различных линейных комбинаций. Систематические коды – самая обширная и наиболее применяемая группа корректирующих кодов. Они включают такие коды, как код Хэмминга, циклические коды, коды Боуза-Чоудхури и другие. Большие вычислительные системы (Amdal, IBM, Burroughs, ICL) используют очень сложную методику проверки ошибок при передаче по линиям связи между машинами. В ПЭВМ обычно применяется

более простая техника проверки ошибок. Одной из простейших форм проверки ошибок является так называемый эхоплекс. В соответствии с этой методикой каждый символ, посылаемый ПЭВМ по дуплексной линии связи удаленному абоненту, возвращается обратно к ПЭВМ в виде эха. Если ПЭВМ принимает тот же символ, что и был послан, подразумевается, что передача символа прошла правильно. Если нет, значит, при передаче произошла ошибка, и необходима повторная передача этого же символа. Эхоплекс применяется в двунаправленных дуплексных каналах связи.

Другим часто используемым на практике (и сравнительно простым) методом является контроль на четность. Его суть заключается в том, что каждой кодовой комбинации добавляется один разряд, в который записывается единица, если число единиц в кодовой комбинации нечетное, или ноль, если четное. При декодировании подсчитывается количество единиц в кодовой комбинации. Если оно оказывается четным, то поступившая информация считается правильной, если нет, то ошибочной.

Еще одной формой проверки ошибок служит подсчет контрольных сумм. Это несложный способ, который обычно применяется вместе с контролем ошибок с помощью эхоплекса или проверки на четность/нечетность. Сущность его состоит в том, что передающая ПЭВМ суммирует численные значения всех передаваемых символов. Шестнадцать младших разрядов суммы помещаются в шестнадцатиразрядный счетчик контрольной суммы, который вместе с информацией пользователей передается принимающей ПЭВМ. Принимающая ПЭВМ выполняет такие же вычисления и сравнивает полученную контрольную сумму с переданной. Если эти суммы совпадают, подразумевается, что блок передан без ошибок. Последним словом в области контроля ошибок в сфере ПЭВМ является циклическая проверка с избыточным кодом (CRC – cyclic redundancy check). Она широко используется в протоколах HDLC, SDLC, но в индустрии ПЭВМ появилась сравнительно недавно. Поле контроля ошибок включается в кадр передающим узлом. Его значение получается, как некоторая функция от содержимого всех других полей. В принимающем узле производятся идентичные вычисления еще одного поля контроля ошибок. Эти поля затем сравниваются; если они совпадают, велика вероятность того, что пакет был передан без ошибок.

### *Распределение ресурсов в сетях*

Web-ресурсы очень богаты и продолжают непрерывно пополняться. Это web-страницы (содержащие текст, изображения, Java-апплеты, фреймы и т. д.), музыкальные файлы в формате MP3, записанное потоковое аудио и видео, виртуальные миры. Ресурсы распределены между огромным количеством серверов, разбросанных по всему миру, и доступны миллионам пользователей. Протокол HTTP является средством, позволяющим любому пользователю получить любой объект независимо от того, сколькими тысячами километров измеряется расстояние между хостом пользователя и удаленным сервером и сколько интернет-провайдеров находится на пути запроса. Тем не менее, время доступа к web-ресурсам иногда бывает весьма значительным. На пути объекта к хосту пользователя имеются низкоскоростные линии связи, что приводит к значительным задержкам передачи. На пути объекта находится хотя бы один перегруженный узел, в котором велико значение задержки ожидания и имеет место потеря пакетов. Перегрузки могут происходить даже в тех случаях, когда входы узла представляют собой высокоскоростные линии связи. Web-сервер, которому адресован запрос, перегружен, и время ожидания обслуживания запроса может быть весьма значительным.

Для решения проблемы задержек используется нехитрый прием: один и тот же ресурс располагают на нескольких серверах, и запрос переадресуется «наилучшему» серверу. Для web-страницы или MP3-файла «наилучшим» будет тот сервер, время выполнения запроса которым минимально. Зачастую такой сервер принадлежит наиболее близкому к пользовательскому хосту интернет-провайдеру.

Распределение ресурсов подразумевает механизмы дублирования ресурсов, а также способы определения хостами серверов, наиболее подходящих для выполнения запросов. Во второй половине 1990-х годов средства распределения ресурсов получили широкое распространение; в настоящее время они активно применяются, особенно в сфере аудио- и видеoinформации. Существуют несколько крупных компаний, занимающихся распределением ресурсов. Компании Cisco, Lucent, Inktomi и CacheFlow разрабатывают соответствующее аппаратное и программное обеспечение, а Akamai, Digital Island и AT&T реализуют услуги распределения ресурсов компаниям-поставщикам ресурсов, таким как Yahoo! и CNN. Распределение

ресурсов является полем для активных исследований и с научной, и с промышленной точек зрения.

За прошедшие годы инженеры и исследователи предложили множество решений, касающихся распределения ресурсов. Эти решения можно приближенно разделить на три группы: web-кэширование, сети распределения ресурсов (Content Distribution Networks, CDN) и одноранговое разделение файлов. Ниже мы рассмотрим каждую из технологий, однако сначала немного уточним терминологию. Поставщиком ресурсов мы будем считать любое лицо, организацию или компанию, которые располагают ресурсом, доступным для пользователей Интернета. Под сервером-источником объекта будет подразумеваться сервер, на котором первоначально находился объект и где всегда можно найти копию этого объекта.

Web-кэш, часто называемый прокси-сервером, представляет собой сеть, которая выполняет HTTP-запросы от имени сервера-источника. Web-кэш имеет собственное дисковое устройство хранения информации, содержащее ранее запрашивавшиеся копии объектов. Браузер пользователя можно настроить таким образом, чтобы все создаваемые HTTP-запросы сначала направлялись в web-кэш (данная процедура в браузерах Microsoft и Netscape выполняется очень просто).

После того как браузер настроен указанным образом, любой запрашиваемый объект сначала ищется в web-кэше. Обычно кэш-серверы арендуются и устанавливаются интернет-провайдерами. Например, университет может создать кэш-сервер в своей локальной сети и выполнить конфигурирование всех браузеров так, чтобы они обращались к кэш-серверу. Web-кэширование является формой распределения ресурсов, поскольку дублирует объекты серверов-источников и организует доступ пользователей к локальным копиям объектов. Обратите внимание на то, что поставщик ресурсов никак не влияет на процесс дублирования; напротив, дублирование зависит лишь от запросов пользователей.

Кэширование получило широкое распространение в Интернете по трем причинам. Первая заключается в том, что кэш-серверы способны значительно сократить время выполнения запроса пользователя, в особенности, если скорость передачи между пользователем и кэш-сервером превышает скорость передачи между пользователем и сервером-источником. Зачастую для соединения

пользователя с кэш-сервером используются высокоскоростные линии связи, поэтому при наличии на кэш-сервере требуемого объекта его доставка пользователю происходит за очень короткое время. Вторая причина популярности механизма кэширования состоит в том, что он способен значительно снизить трафик между локальными сетями и интернетом. Это позволяет, в свою очередь, сократить расходы на дорогостоящие линии связи, соединяющие локальные сети с интернетом. Кроме того, значительное сокращение трафика при кэшировании происходит и в интернете в целом, приводя к лучшему качеству обслуживания приложений всех пользователей глобальной сети. Наконец, третья причина успеха кэширования заключается в том, что оно позволяет с большой скоростью распространять ресурсы среди пользователей. Даже в случае, если поставщик использует недорогое низкоскоростное сетевое оборудование, наиболее популярные ресурсы в скором времени окажутся в web-кэшах и, следовательно, пользователи смогут загружать их с приемлемым качеством обслуживания. Таким образом, применение кэш-сервера дает лучшие результаты, чем увеличение пропускной способности линии доступа, и не требует замены сетевого оборудования. Разумеется, аренда и установка кэш-сервера не является бесплатной, однако расходы университета в случае замены линии доступа были бы значительно выше. Отметим, что для создания web-кэша вполне достаточно недорогого персонального компьютера и, кроме того, для кэш-серверов существует бесплатное программное обеспечение.

Сеть доставки (и дистрибуции) контента (англ. Content Delivery Network или Content Distribution Network, CDN) – географически распределенная сетевая инфраструктура, позволяющая оптимизировать доставку и дистрибуцию контента конечным пользователям в сети Интернет. Использование контент-провайдерами CDN способствует увеличению скорости загрузки интернет-пользователями аудио-, видео-, программного, игрового и других видов цифрового контента в точках присутствия сети CDN.

Сети доставки и дистрибуции контента состоят из географически распределенных многофункциональных платформ, взаимодействие которых позволяет максимально эффективно обрабатывать и удовлетворять запросы пользователей при получении контента.

При использовании сети CDN данные центрального сервера интернет-ресурса реплицируются на периферийные платформы. Каждая



платформа поддерживает в актуальном состоянии полную или частичную копию распространяемых данных. Узел сети, входящий в состав платформы, взаимодействует с локальными сетями интернет-провайдеров и распространяет контент конечным пользователям по кратчайшему сетевому маршруту с оптимального по загруженности сервера. Длина сетевого маршрута зависит от географической или топологической удаленности пользовательского компьютера от сервера или стоимости передачи трафика в регионе присутствия.

Кэширование является самым распространенным методом реализации CDN-решения, так как предполагает оптимальное использование дискового пространства и связующих каналов сети. При этом максимальные затраты по времени загрузки файла (очередь файлов) берет на себя первый пользователь, обратившийся на оригинальный сервер контент-провайдера. Все последующие пользователи будут обращаться к уже загруженным репликам (HTTP-объектам) с ближайшего к ним сервера. Таким образом, на удаленных серверах хранится только популярный и часто запрашиваемый контент.

Крупные CDN могут состоять из огромного количества распределенных узлов и размещать свои серверы непосредственно в сети каждого локального интернет-провайдера. Многие CDN-операторы делают акцент на пропускной способности связующих каналов и минимальном количестве точек присоединения в регионе присутствия. Вне зависимости от используемой архитектуры главным предназначением подобных сетей является ускорение передачи как статического контента, так и непрерывного потока данных.

В зависимости от того, как распределены функции между компьютерами сети, сетевые операционные системы, а, следовательно, и сети делятся на два класса: одноранговые и двухранговые. Если компьютер предоставляет свои ресурсы другим пользователям сети, то он играет роль сервера. При этом компьютер, обращающийся к ресурсам другой машины, является клиентом. Как уже было сказано, компьютер, работающий в сети, может выполнять функции либо клиента, либо сервера, либо совмещать обе эти функции.

В одноранговых сетях все компьютеры равны в правах доступа к ресурсам друг друга. Каждый пользователь может по своему желанию объявить какой-либо ресурс своего компьютера разделяемым, после чего другие пользователи могут его эксплуатировать. В таких сетях на всех компьютерах устанавливается одна и та же ОС,

которая предоставляет всем компьютерам в сети потенциально равные возможности.

В одноранговых сетях также может возникнуть функциональная несимметричность: одни пользователи не желают разделять свои ресурсы с другими, и в таком случае их компьютеры выполняют роль клиента, за другими компьютерами администратор закрепил только функции по организации совместного использования ресурсов, а значит, они являются серверами, в третьем случае, когда локальный пользователь не возражает против использования его ресурсов и сам не исключает возможности обращения к другим компьютерам, ОС, устанавливаемая на его компьютере, должна включать и серверную, и клиентскую части. В отличие от сетей с выделенными серверами, в одноранговых сетях отсутствует специализация ОС в зависимости от преобладающей функциональной направленности – клиента или сервера. Все вариации реализуются средствами конфигурирования одного и того же варианта ОС.

Одноранговые сети проще в организации и эксплуатации, однако они применяются в основном для объединения небольших групп пользователей, не предъявляющих больших требований к объемам хранимой информации, ее защищенности от несанкционированного доступа и к скорости доступа. При повышенных требованиях к этим характеристикам более подходящими являются двухранговые сети, где сервер лучше решает задачу обслуживания пользователей своими ресурсами, так как его аппаратура и сетевая операционная система специально спроектированы для этой цели.

### **Защита и аварийное восстановление информации в КС**

В зависимости от возможных видов нарушений работы сети (под нарушением работы мы также понимаем и несанкционированный доступ) многочисленные виды защиты информации объединяются в два основных класса:

- средства физической защиты, включающие средства защиты кабельной системы, систем электропитания, средства архивации, дисковые массивы и т. д.;

- административные меры защиты, включающие контроль доступа в помещения, разработку стратегии безопасности фирмы, планов действий в чрезвычайных ситуациях и т. д.

Следует отметить, что подобное деление достаточно условно, поскольку современные технологии развиваются в направлении

сочетания программных и аппаратных средств защиты. Наибольшее распространение такие программно-аппаратные средства получили, в частности, в области контроля доступа, защиты от вирусов и т. д.

### **Физическая защита данных**

#### **Кабельная система**

Кабельная система остается главной «ахиллесовой пятой» большинства локальных вычислительных сетей: по данным различных исследований, именно кабельная система является причиной более чем половины всех отказов сети. В связи с этим кабельной системе должно уделяться особое внимание с самого момента проектирования сети.

Наилучшим способом избежать себя от «головной боли» по поводу неправильной прокладки кабеля является использование получивших широкое распространение в последнее время так называемых структурированных кабельных систем, использующих одинаковые кабели для передачи данных в локальной вычислительной сети, локальной телефонной сети, передачи видеoinформации или сигналов от датчиков пожарной безопасности или охранных систем. К структурированным кабельным системам относятся, например, SYSTIMAX SCS фирмы AT&T.

Наилучшим способом защиты кабеля от физических (а иногда и температурных и химических воздействий, например, в производственных цехах) является прокладка кабелей с использованием в различной степени защищенных коробов.

Другая важная проблема правильной инсталляции и безотказной работы кабельной системы – соответствие всех ее компонентов требованиям международных стандартов.

#### **Системы электроснабжения**

Наиболее надежным средством предотвращения потерь информации при кратковременном отключении электроэнергии в настоящее время является установка источников бесперебойного питания. Различные по своим техническим и потребительским характеристикам, подобные устройства могут обеспечить питание всей локальной сети или отдельного компьютера в течение промежутка времени, достаточного для восстановления подачи напряжения или для сохранения информации на магнитные носители. Большинство источников бесперебойного питания одновременно выполняет

функции и стабилизатора напряжения, что является дополнительной защитой от скачков напряжения в сети. Многие современные сетевые устройства – серверы, концентраторы, мосты и т. д. – оснащены собственными дублированными системами электропитания.

За рубежом крупные корпорации имеют собственные аварийные электрогенераторы или резервные линии электропитания. Эти линии подключены к разным подстанциям, и при выходе из строя одной из них электроснабжение осуществляется с резервной подстанции.

### **Системы архивирования и дублирования информации**

Организация надежной и эффективной системы архивации данных является одной из важнейших задач по обеспечению сохранности информации в сети. В небольших сетях, где установлены один-два сервера, чаще всего применяется установка системы архивации непосредственно в свободные слоты серверов. В крупных корпоративных сетях наиболее предпочтительно организовать выделенный специализированный архивационный сервер.

Такой сервер автоматически производит архивирование информации с жестких дисков серверов и рабочих станций в указанное администратором локальной вычислительной сети время, выдавая отчет о проведенном резервном копировании. При этом обеспечивается управление всем процессом архивации с консоли администратора, например, можно указать конкретные тома, каталоги или отдельные файлы, которые необходимо архивировать. Возможна также организация автоматического архивирования при наступлении того или иного события («event driven backup»), например, при получении информации о том, что на жестком диске сервера или рабочей станции осталось мало свободного места, или при выходе из строя одного из «зеркальных» дисков на файловом сервере. Среди наиболее распространенных моделей архивационных серверов можно выделить Storage Express System корпорации Intel, ARCserve for Windows, производства фирмы Cheyenne и ряд других.

Хранение архивной информации, представляющей особую ценность, должно быть организовано в специальном охраняемом помещении. Специалисты рекомендуют хранить дубликаты архивов наиболее ценных данных в другом здании, на случай пожара или стихийного бедствия. Повышение надежности и защита данных в сети, основанная на использовании избыточной информации, реализуются не только на уровне отдельных элементов сети, например, дисковых массивов, но и на уровне сетевых ОС.

### **3. ПРИМЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК. КОММУНИКАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

#### **3.1. Интегрированная система управления доильным залом молочно-товарного комплекса**

Животноводческие фермы являются сложными системами, в которых основными составляющими являются человек, машина, биологический объект (корова). Объекты автоматизации имеют ряд особенностей, затрудняющих разработку систем управления и их внедрение: им свойственна многомерность параметров, наличие нелинейности, недетерминированности, многосвязности, распределенности, динамичность характеристик. Наиболее трудоемкими и трудно поддающимися автоматизации являются машинное доение и нормированное кормление животных.

##### **3.1.1. Анализ современных технологий управления молочно-товарной фермой**

Один из основных законов теории управления гласит, что устройство управления за единицу времени должно получать и перерабатывать информации не меньше, чем выдавать от себя в виде управляющих команд.

Это достигается структуризацией управляющей системы – формированием взаимодействующих подсистем управления, каждая из которых решает некоторую частную задачу в условиях относительной самостоятельности. При этом в управляющей системе создается центральный орган управления, функцией которого является координация действий подсистем. Управляющая система строится иерархическим образом, и собственные интересы (критерии) подсистем согласуются с целью всей системы.

Молочная ферма характеризуется следующими чертами:

– отсутствием полного математического описания объекта; математической модели, но для построения автоматизированной системы управления она в том или ином виде необходима; поэтому

автоматизированные компьютерные системы управления сложным объектом могут быть информационные, информационно-соответствующие и управляющие;

- стохастичностью поведения сложного объекта по причине случайных помех, его зашумленности и наличия биологического объекта управления (БОУ), который имеет вероятностный характер поведения;

- «нетерпимостью» к управлению, вызванной поведением коллектива людей в системе управления сложного объекта, который имеет свои цели, зачастую не совпадающие с общей целью управления фермой;

- нестационарностью сложного объекта, вызванной изменением его характеристик и эволюцией во времени (старением, изменением структуры);

- невозпроизводимостью экспериментов – в разные моменты времени сложный объект по-разному реагирует на управляющее воздействие.

Перевод существующего молочно-товарного производства на более высокий уровень развития возможен только на основе системного подхода в формировании инфраструктуры молочно-товарной фермы, причем центральное место в биотехнической системе «человек–машина–животное» должен занимать биологический объект – корова (рис. 3.1)

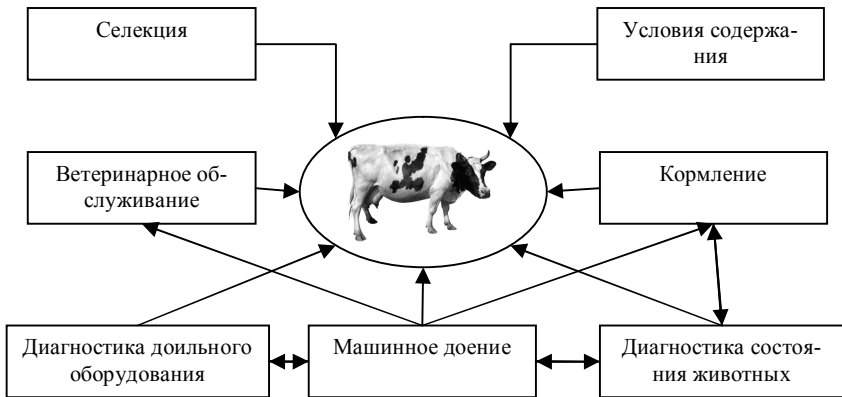


Рис. 3.1. Технологические процессы при производстве молока

В связи с названными особенностями сложного объекта управление ведется с опережением и по намеченному направлению

изменения объекта. Предварительно дается пробное, а затем основное управляющее воздействие. Управление фермой направлено на компенсацию внешних и внутренних возмущающих воздействий, которые можно поделить на непрерывные (текущие) с часовым циклом, являющиеся случайными процессами; дискретные с суточным циклом; дискретные с сезонным (годовым) циклом.

Управление процессами производства продукции в животноводстве требует мониторинга почти 2000 различных параметров: физических, технических, химических, электрических, световых, биологических. Около 20 % из них пока недоступны непосредственному измерению, для некоторых из них, таких, как степень измельчения, качество смешивания и др., не разработаны первичные преобразователи.

Это обуславливает поэтапное внедрение новых информационных технологий управления по принципу «снизу–вверх», от создания локальных автоматизированных систем управления отдельными технологическими процессами и установками, к синтезу комплексных и интегрированных информационно-управляющих систем (ИУС) (рис. 3.2)



Рис. 3.2. Автоматизированные технологии содержания и обслуживания животных

Неподготовленность сельскохозяйственного производства к компьютеризации, нестабильность сырьевых и энергетических потоков требуют нетривиальных алгоритмов управления, дополнительных функций диагностики технологического оборудования и т. п. Исходя из этих предпосылок, можно определить следующие принципы, позволяющие обеспечить успешность внедрения ИУС в сельскохозяйственное производство Беларуси:

- учет биотехнического характера сельскохозяйственного производства;

- максимальное использование программно-технических средств общепромышленного применения;

- ориентация на концепцию компьютерно-интегрированного производства.

Современные зарубежные системы обслуживания животных основаны на применении прецизионных (точных) технологий и содержат подсистемы (идентификации, управления доением, индивидуального учета надоев молока и дифференцированного кормления, определения двигательной активности, электронного взвешивания), объединенные в компьютерную систему управления стадом.

Точное молочное животноводство представляет собой использование технологий для измерения физиологических, поведенческих и производственных показателей отдельных животных в целях совершенствования стратегий управления и повышения производительности фермы. Точное молочное животноводство стремится к экологически и экономически устойчивому производству молока с сохранением качества продукции, а также высокой степенью защиты потребителей и животных. Основными задачами точного молочного животноводства являются: максимизация индивидуального потенциала животных, раннее выявление заболеваний и сведение к минимуму использования лекарств с помощью профилактических мер по охране здоровья. Точное молочное животноводство представляет собой междисциплинарную область знаний, объединяющую такие науки, как информатика, биостатистика, этология, экономика, генетика, ветеринария, инженерия. Преимущества точного молочного животноводства включают в себя повышение эффективности, снижение издержек, улучшение качества продукции, сведение к минимуму негативного воздействия на окружающую среду, а также улучшение здоровья животных.



Технологии, составляющие основу точного молочного животноводства, различаются по своей сложности от ежедневной регистрации надоев до измерения различных параметров в молоке в процессе доения. В настоящее время в отечественной и зарубежной практиках успешно применяются многие технологии точного молочного животноводства: счетчики молока, мониторинг компонентного состава молока (жир, белок, соматические клетки), датчики двигательной активности, температуры тела, частоты пульса животных, датчики электропроводности молока, устройства для определения охоты, устройства для измерения массы тела животных, двигательной активности, походки животных, их пищевого поведения, прогестерона (для определения охоты или обнаружения стельности), цвета молока, частоты дыхания.

Анализ этих данных совместно с данными о молочной продуктивности, привесах позволяет с высокой достоверностью прогнозировать период прихода животных в охоту, возникновение заболеваний, производить оценку качества кормов, решать другие важные производственные задачи. Все эти действия осуществляются в автоматическом режиме под контролем программ управления стадом. Современное программное обеспечение позволяет вести четкую племенную работу и обеспечивать эффективное воспроизводство стада (рис. 3.3).

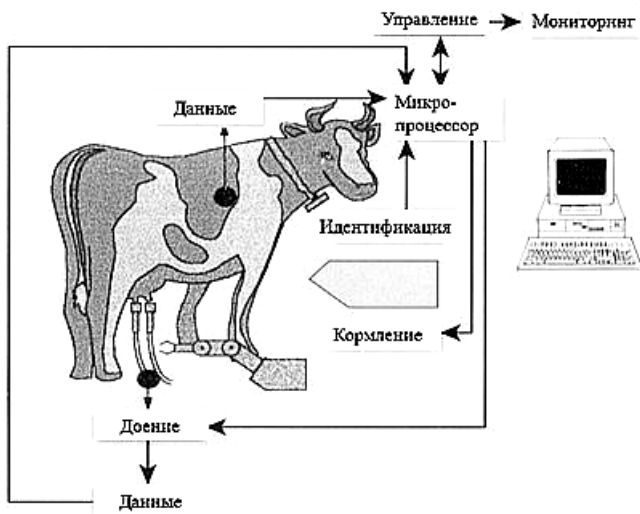


Рис. 3.3. Современные системы управления стадом

В общем случае в системы управления стадом входят следующие компоненты:

– датчики электронной идентификации животных, которые помимо идентификации животных могут обеспечивать передачу в компьютер звука при пережевывании кормов, температуры тела, частоты дыхания. Это позволяет контролировать состояние здоровья поголовья, наступление охоты и т. д.;

– электронные измерители потока молока – отслеживают надой, проводимость молока и уровень молокоотдачи;

– респондеры – обеспечивают точное и непрерывное отслеживание активности животных;

– система определения охоты – производит круглосуточный мониторинг активности каждой коровы и автоматически сигнализирует о наличии в стаде коров в охоте и/или коров с низким уровнем активности;

– селекционные ворота – автоматическая система обеспечивает пропуск животного в зону, определенную для него оператором с пульта либо программой управления стадом с компьютера. Подходя к воротам, животное идентифицируется транспондером и с помощью соответствующих створок продвигается в нужном направлении;

– система доения. Оптимизация процедуры доения – один из ключевых факторов высокой молочной продуктивности стада и эффективности оборудования. Используя различные показатели работы зала, реально добиться максимальной его производительности. Автоматически собранная информация нужна для мониторинга дойного стада, оценки работы персонала, функционирования оборудования и для общего управления фермой.

Основные задачи управления доильным залом включают:

а) правильное подсоединение подвесной части доильной установки после подготовки коров к доению;

б) мягкое, быстрое и максимально полное выдаивание молока с соблюдением требований гигиены;

в) своевременное отсоединение доильной установки после прекращения молокоотдачи;

г) спокойный и бесстрессовый выход коров из зала после дойки, сортировка животных по технологическим зонам, быстрое заполнение стойл следующей группой;

д) обеспечение максимальной пропускной способности доильного зала.

### 3.1.2. Анализ особенностей автоматических систем доения коров

Автоматические доильные системы впервые появились в Нидерландах в 1992 году. Значительная трудоемкость процесса доения, неуклонно повышающиеся требования к качеству молока и высокая оплата труда наемных работников стимулировали инвестирование в производство высокотехнологичного и наукоемкого оборудования для молочных ферм в этой стране. Первой компанией, начавшей промышленное производство доильных роботов, была голландская LelyNV. Сейчас их производят фирмы Fullwood, Bou-Matic, DeLaval, Gaskoine Mellot, SAC, Westfalia.

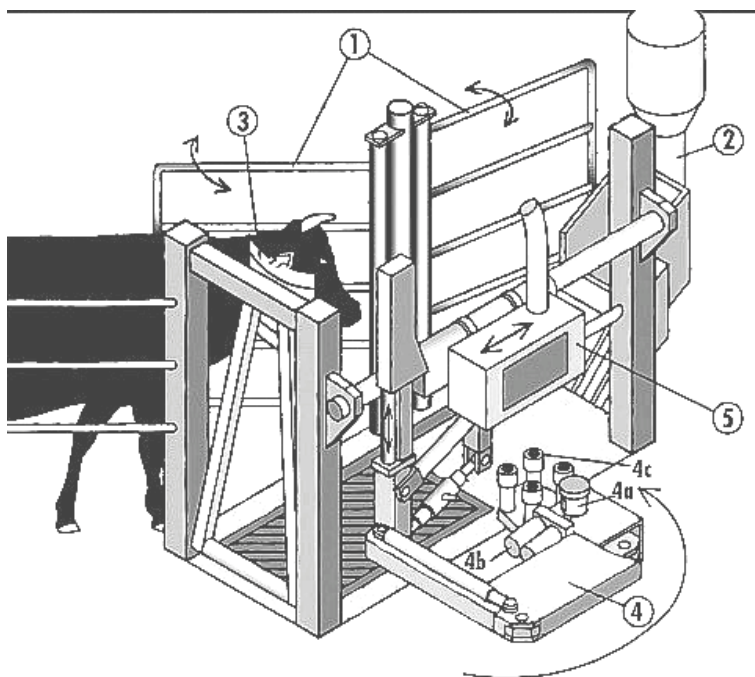
Доильный робот состоит из следующих основных частей:

- рука, способная совершать трехмерные движения;
- система очистки сосков и вымени при помощи щеток и моющего раствора;
- устройство для надевания и снятия доильных стаканов;
- контрольные и сенсорные приборы;
- весы для автоматического взвешивания коров, молока и концентратов;
- компьютер;
- интерфейс;
- программное обеспечение;
- система контроля качества молока (определяет его цвет, температуру, электропроводность, кислотность, скорость молокоотдачи, объем по отдельным долям вымени, число соматических клеток);
- система идентификации животных;
- доильное стойло.

Для обнаружения сосков, обработки вымени, надевания и снятия доильных стаканов используются лазерные датчики, ультразвуковые устройства, оптические системы, сенсорные датчики или комбинированные системы (рис. 3.4).

Все автоматические доильные системы условно можно разделить на три группы:

- один доильный бокс с одним роботом и одной рукой;
- роботизированная система, состоящая из нескольких доильных боксов, обслуживаемых одним роботом с одной рукой;
- система, оснащенная двумя-тремя роботами, каждый из которых обслуживает несколько доильных боксов.



*Рис. 3.4. Общий вид автоматической доильной установки:*

- 1 – входные и выходные ворота; 2 – автоматическая кормораздаточная станция; 3 – сенсор, определяющий положение коровы в боксе; 4 – рука робота (манипулятор); 4а – лазерный датчик; 4b – вращающиеся ролики обмыва вымени; 4с – доильные стаканы; 5 – блок регулирования перемещения руки

Выделим основные преимущества доильных роботов:

- полная автоматизация процессов и минимальные трудозатраты для получения молока;
- обязательное качественное выполнение всех операций по подготовке животных к доению, а также по санобработке вымени. Это благотворно влияет на правильное развитие рефлекса молокоотдачи и снижает общий уровень заболеваемости маститом;
- индивидуальный режим доения для каждого соска, что обеспечивает максимально возможное в промышленных условиях щадящее доение и минимальный риск распространения инфекции. Анализ компьютерных данных показал, что продолжительность молоковыведения из каждой четверти вымени со временем может

меняться. Кроме того, наблюдается заметная разница в продолжительности доения передних и задних четвертей вымени. Поэтому отдельные доения каждой четверти вымени и снятие доильных стаканов по мере снижения потока молока до определенного уровня положительно сказываются на состоянии вымени животного. Это происходит за счет снижения времени холостого доения и удержания его в узких пределах;

- комфортное содержание коров, обусловленное рациональной компоновкой коровника и доильно-молочного блока;

- анализ качества молочного сырья с регистрацией его параметров во время доения. Возможность диагностирования заболеваний отдельных четвертей вымени на ранних стадиях (за счет измерения температуры молока и его электропроводности), а также снижение вредного влияния на соски холостого доения позволила снизить затраты на услуги ветеринара и медикаменты на 50 %, что было установлено в результате 15-месячного наблюдения за животными, выдаваемыми доильным роботом Astronaut;

- отделение первых струек молока, содержащих наибольшее количество бактериальной микрофлоры, способствует продлению сыропригодности молока.

Высокое качество молока обуславливается сохранением практически естественной микрофлоры, которая обеспечивается соблюдением санитарных норм на протяжении всего процесса доения, а также отсутствием воспалений вымени и его травм. В хозяйствах, где применяют доильных роботов, отмечается более спокойная, комфортная для коров обстановка, благодаря которой растет продуктивность.

Применение доильных роботов позволяет оценивать состояние каждой из четвертей вымени и своевременно выявлять признаки мастита. Для диагностики субклинических маститов используются два параметра – электропроводность и температура молока. Некоторые исследователи считают измерение электропроводности молока достаточно эффективным методом обнаружения мастита в клинической стадии. Для большей точности диагностики мастита голландские ученые разработали компьютерный анализ трех переменных величин – надоя, температуры и электропроводности молока.

По результатам исследований роботы-дойеры намного эффективнее в работе, чем традиционные доильные установки. Наиболее

экономичной из установок является «Елочка», на втором месте – «Карусель». В настоящее время уже разработаны доильные роботы, которые могут работать на базе доильного зала «Карусель», что позволяет достигать еще большей эффективности.

Животные быстро привыкают к доению роботами и охотно самостоятельно посещают доильный бокс. Число доений животных зависит, главным образом, от их продуктивности. Результаты производственной проверки показали, что коровы со средним суточным удоем молока в пределах 16,1...23,2 л посещают доильный бокс до двух раз в сутки. Животные со средним суточным надоем молока 30,1 л доятся уже три раза, а четыре раза посещают доильный бокс коровы, средний суточный удой которых составляет 36,1 л.

В ходе исследований был проведен хронометраж отдельных операций, выполняемых роботом при доении коров. Было установлено, что при средней разовой продолжительности пребывания коровы в доильном боксе 7,36 мин робот способен выполнить 140...150 доений в сутки, т. е. робот может обслуживать 50...55 коров.

Внедрение автоматических доильных установок на небольших фермах с традиционным двукратным доением, по данным голландских специалистов, повышает надой молока до 15 % за счет увеличения числа доений при свободном доступе коров к доильной установке, что способствует сравнительно быстрой окупаемости затрат на нее. Однако само по себе автоматическое доение не повышает надой по сравнению с обычным трехразовым доением.

По заключениям специалистов, увеличение числа доек с единовременной подкормкой концентратами улучшает физиологическое состояние дойных коров, повышает усвояемость корма, стимулирует молокообразование, способствует здоровому развитию вымени, экономит затраты на лечение и ветеринарное обслуживание скота, а эффект добровольного самообслуживания коров позволяет исключать стрессы у скота на фермах промышленного типа. Обеспечение индивидуального подхода и благоприятное воздействие полной автоматизации кормления и доения на продуктивность и здоровье коров делает вполне реальным увеличение продолжительности хозяйственного использования лактирующих особей с 3–4 до 6 и более лактаций.

Применение доильных роботов требует иной организации технологического процесса производства молока с соответствующей

планировкой коровника. При использовании автоматической системы доения проекты коровников должны учитывать, что в соответствии с индивидуальным суточным режимом дня и физиологическими потребностями животные совершают многократные перемещения по помещению (для доения – 3–5 раз в сутки, для кормления – в среднем 7 раз).

Наряду с очевидным преимуществом автоматических доильных систем в процессе их эксплуатации обнаружен ряд недостатков:

- высокая стоимость роботов и их сервисного обслуживания;
- сложность и капиталоемкость дополнительного оборудования и подводящих коммуникаций;
- особый подход к дойному стаду.

Эксплуатация роботов в коровниках подразумевает соблюдение определенных требований. Фактором, жестко обуславливающим эффективность применения роботов, является молочная продуктивность коров. Каждое автоматически выдаиваемое животное должно давать не менее 6500 кг молока за лактацию. При меньшей продуктивности обслуживаемых коров применение этого оборудования экономически нецелесообразно. Общие требования, которым должны соответствовать животные при доении роботом, таковы:

- а) высокие молочная продуктивность и уровень молокоотдачи;
- б) плотно прикрепленное вымя, одинаковые по размеру соски, нижняя точка которых не должна быть ниже 33 см от уровня пола;
- в) расстояние между сосками не менее 6 см;
- г) толщина сосков в пределах 1,5–3,5 см;
- д) задние соски должны быть расположены на 3 см ниже, чем нижняя часть вымени;
- е) минимальное расстояние между передним и задним сосками вымени – 7 см;
- ж) угол отклонения сосков от вертикали не должен превышать 30°;
- з) диагональное расположение сосков не допускается;
- и) животное должно быть активным, со здоровыми копытами.

Нервные коровы подлежат выбраковке.

Неправильно или плохо развитое вымя и искривленные соски приводят к тому, что устройство не может надеть на них доильные стаканы. Ряд фирм-изготовителей доильных роботов, учитывая конструктивные особенности и функциональные возможности своих машин, разрабатывают свои собственные требования.

Не все коровы охотно посещают доильный бокс. В результате длительных исследований доения коров в однобоксовом роботе специалисты фирмы Lely сформулировали пять основных требований, выполнение которых увеличит частоту посещения коровами автоматизированной доильной системы:

а) необходимо организовать движение коров в помещении таким образом, чтобы оно стимулировало их к регулярному посещению доильных боксов;

б) медлительных коров, которые посещают доильный робот менее 2 раз в сутки, необходимо подгонять к боксу с интервалом между доениями 14 ч и более. В течение короткого промежутка времени животные привыкают к необходимости посещения доильного робота;

в) животные со здоровыми копытами охотно посещают доильного робота, поэтому надо регулярно контролировать состояние копыт и своевременно выполнять уход за ними;

г) коровы должны иметь круглосуточный свободный доступ к воде и корму;

д) доильный робот должен надежно работать 24 часа в сутки. Каждая неисправность и простой оборудования влияют на интервалы между доениями, что может вызвать стресс у животных с последующими негативными последствиями;

– неудовлетворительная обработка вымени и очистка сосков роботами.

Несмотря на имеющийся мировой опыт автоматизации мойки и стимулирующего массажа вымени, подобная операция, выполняемая роботом, еще не полностью удовлетворяет требованиям производства (пока не существует сенсоров, определяющих степень загрязненности вымени). Решающее значение в повышении эффективности проведения этого приема имеют надлежащие санитарно-гигиенические условия содержания коров, влияющие на загрязненность вымени и, в конечном счете, на качество получаемого молока.

### **3.1.3. Компьютерные системы управления стадом**

Ведущие фирмы-производители доильного оборудования предлагают собственные системы управления стадом. В ходе исследования были изучены функциональные возможности данных систем.



Компания DeLaval для молочных ферм с беспривязным содержанием коров предлагает систему управления ALPRO, которая имеет широкие возможности:

- ежедневный обзор стада, выдача сигналов об отклонениях, составление списков действий для персонала фермы;

- составление различных отчетов: по воспроизводству стада (неоплодотворенные коровы); о случаях аборт; о сухостойных коровах; отчет с ожидаемыми датами отела; отчет о коровах, требующих проверки на стельность; о нарушениях репродуктивных функций (репродуктивные проблемы);

- составление отчетов о состоянии здоровья животных, лечении, низкой активности; ведение статусов коров; взвешивание животных; определение содержания крови в молоке и его электропроводности;

- расчет молочной продуктивности для стада, групп и индивидуальной по животным; выдача отчета по низкопродуктивным коровам;

- определение эффективности доения, характеристик процесса доения (величина надоев, потока молока, продолжительность доения); выдача сигналов о соскальзывании доильных стаканов с сосков; сигналов о наличии воздушных пробок; составление графиков и отчетов по эффективности программы доения в доильном зале, инцидентам при доении (повторное присоединение доильных стаканов, ручное снятие подвесной части, проблемы с невыдоенными или дважды выдоенными коровами на текущий день); отчеты о работе оборудования; отчеты о проверке молока стада;

- мониторинг потребления кормов с возможностью подачи сигнала тревоги после 8, 24 и 72 часов; расчет изменений рациона для кормовых столов; изменение групп с проверкой режима кормления;

- перемещение животных между группами: импорт/экспорт данных о корове, поступившей с другой фермы с системой ALPRO; экспорт данных о коровах, выбывающих из стада.

Кроме того, в программе присутствует инструмент анализа DeLaval HerdNavigator, который во время доения выявляет коров, требующих внимания, формирует биомодель стада и предоставляет специалистам протоколы для работы с животными. HerdNavigator имеет следующие возможности:

- автоматический отбор проб молока во время доения, анализ заданных показателей по молоку;

- выявление коров, которым необходимо особое внимание – по воспроизводству, состоянию здоровья и условиям пребывания;
- составление плана действий по улучшению состояния здоровья коров;
- автоматическое выявление половой охоты (в том числе, у коров со скрытой половой охотой) по содержанию прогестерона;
- повышение эффективности выполнения повседневных задач и сокращение затрат времени и усилий на рутинную работу.

Система ALPRO позволяет оценить эффективность работы зала по таким показателям, как общее количество животных, выдоенных за час, общий надой за час, надой на корову, валовой надой за сутки и по периодам, а также в среднем за день. Программа помогает составлять отчеты, в которых содержится множество показателей доения: общее время эксплуатации сосковой резины, количество доильных периодов с ее использованием, дата последней замены и др. [8, 23].

В свою очередь, компания GEA Farm Technologies предлагает потребителям систему управления стадом DairyManagement System 21, которая объединяет целый комплекс программ различного направления [51]:

- система управления стадом постоянно регистрирует в реальном времени индивидуальные данные каждого животного и важные показатели через подключенные в сеть DPNet компоненты, передает их на центральный компьютер и анализирует их с помощью программы DairyPlan 21. В соответствии с потребностями животного и предприятия управление периферийными устройствами происходит автоматически;

- DPVet – программа для ветеринарного и зоотехнического планирования, дает возможность устанавливать любые схемы вакцинаций, лечения, а система управления напоминает, когда и какой корове требуется введение препарата. Данная функция позволяет не забыть про необходимость лечения и профилактики каждого животного;

- программы DPHerdStat и DPTableGraf обеспечивают точное измерение показателей выдоенного молока, графический анализ данных о животных;

- система DPMeasGraf и датчики Rescounter служат для выявления коров в охоте для своевременного осеменения по отклонению активности, что уменьшает межотельный период и сокращает затраты на осеменение;

- программа DPSingle выполняет анализ электропроводности молока для определения потенциально больных маститом животных;
- DPSetup – автоматический расчет стимуляции перед доением и додаиванием;
- управление выдачей концентратов в зависимости от продуктивности осуществляется программой DPFeed, автоматов по выпойке телят – DairyFeedJ;
- сравнение производительности различных смен доярок, эффективности работы осеменителей и качества семени, календарь воспроизводства контролируют программы DPHerdStat и DPEvents;
- программа DPSystemView выполняет контроль и управление работой танка-охладителя молока;
- составление отчетов по расходу кормов и медикаментов выполняет DPList;
- AutoSelect отвечает за автоматическую сортировку животных после доения по любым заданным пользователем критериям.

Для оптимизации общего процесса производства на молочно-товарных фермах разработано программное обеспечение DairyProView, позволяющее визуально отразить все зоны предприятия и рабочие процессы, происходящие в них: в коровнике, переходных галереях и прогонах, в доильно-молочном блоке. Такая уникальная возможность обзора, основывающаяся на данных, получаемых в режиме реального времени, позволяет принимать более точные и эффективные решения, а также лучше осуществлять управление животными в стаде.

Программа GEA DairyProView работает в сочетании с инновационной системой GEA CowView, которая позволяет определять местоположение животного и анализировать его поведение в режиме реального времени. CowViewLabel с помощью стационарных датчиков в коровнике отправляет информацию о месте нахождения животного и его активности по выбору на ноутбук, смартфон или ПК. Таким образом, впервые появилась возможность проводить непрерывный анализ позиции и поведения каждой отдельной коровы в любой момент времени и без потерь исходной информации. Информация о времени нахождения коровы в боксе, в проходах, у кормового стола, преодоленном ею расстоянии в течение дня позволяет с высокой долей вероятности судить о состоянии ее здоровья и помогает точно определить состояние охоты каждого отдельного животного.

Автоматизированная система управления компании S.A.E AFIKIM (Израиль) построена на основе концепции «управления по отклонениям». Предназначена для автоматизированного оперативного управления молочным стадом КРС на молочных комплексах, как в режиме реального времени (решение тактических задач), так и в долгосрочной перспективе (решение стратегических задач).

В систему входят следующие модули:

- программное обеспечение AFIFARM;
- модуль системы идентификации и определения охоты;
- модуль системы учета удоя и контроля здоровья. Модуль позволяет осуществлять: систематический учет удоев каждой коровы для оперативного управления производительностью стада и фермой в целом; достоверное и наиболее точное автоматическое выявление коров в охоте; раннее определение мастита на основе контроля удоя и электропроводности молока в реальном масштабе времени; диагностику ламинита, кетоза и других метаболических нарушений в реальном масштабе времени, что сокращает вынужденную выбраковку и увеличивает продолжительность жизни животных;

- модуль разделения коров AFISORT. Модуль AFISORT – это автоматические сортирующие ворота, которые направляют коров обратно в их загоны и/или отделяют индивидуальных животных для выполнения назначенных процедур. На основании данных о здоровье, воспроизводстве, удоях молока управляющий может выбирать критерии сортировки и составлять расписания автоматической сортировки коров для ветеринарного обследования, осеменения, лечения и т. д.;

- модуль контроля веса AFIWEIGHT. AFIWEIGHT – основной инструмент контроля изменения живого веса коров. Этот модуль помогает в планировании стратегий кормления, принятии решений по вопросам воспроизводства, а также предупреждает о возникновении проблем со здоровьем животного;

- модуль индивидуального кормления AFIFEED. Модуль AFIFEED – инструмент эффективного распределения корма, учитывающий фактическую продуктивность и физиологическое состояние каждой коровы. AFIFEED повышает уровень производства молока и снижает затраты [35].

Использование системы обеспечивает:

- быстрое получение оперативной информации о животном: состояние здоровья, воспроизводительной функции, надой валовой и за каждую дойку, качество молока;
- быстрый доступ к истории животного;
- повышение надоев за счет доклинического диагностирования болезней;
- анализ структуры стада и физиологического состояния животных;
- сокращение затрат на ветеринарные препараты;
- своевременное обнаружение нарушений в технологии воспроизводства стада;
- повышение эффективности осеменений;
- сокращение сервис-периода;
- уменьшение числа яловых животных и увеличение выхода телят;
- повышение эффективности кормления за счет контроля веса животных, индивидуального кормления, рационального распределения кормовых добавок и концентратов;
- снижение затрат труда на решение задач по учету, планированию и контролю технологических операций;
- улучшение качества управления воспроизводством стада и повышение культуры труда.

Отечественная система управления стадом «Майстар» фирмы «Полиэфир» представляет собой программный комплекс для работы со стадом, управления процессом дойки, работы с селекционными воротами, системой определения активности и качества молока.

Основные функции программы:

- мониторинг и управление доением в реальном времени;
- селекционная работа со стадом;
- определение коров в охоте;
- измерение электропроводности молока;
- выявление плохой промывки доильного зала;
- оперативная выработка системных сообщений и тревог;
- формирование отчетов и графиков.

Общая структура компьютеризированного доильного зала представлена на рис. 3.5.

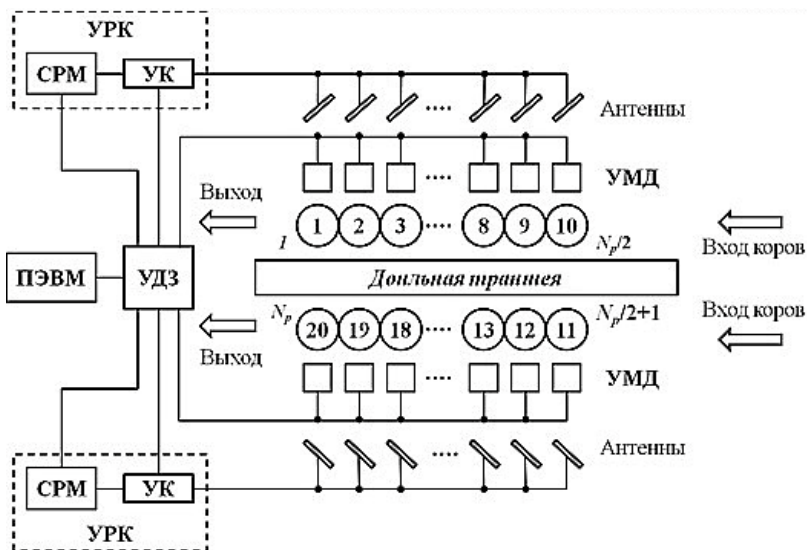


Рис. 3.5. Распределенная структура компьютеризованного доильного зала:  
 СРМ – считыватель радиочастотных меток;  
 УДЗ – устройство управления доильным залом; УК – устройство коммутации;  
 УМД – устройство управления доильным местом;  
 УРК – устройство распознавания и коммутации;  $N_p$  – количество доильных мест

На каждом доильном месте установлен контроллер управления доением конкретной коровы УМД, объединенные в локальную сеть Rs-485. Информация с УМД поступает на УДЗ – устройство управления доильным залом и затем на компьютер.

### 3.2. Интегрированная система управления цехом откорма свиноводческого комплекса

Значительная роль в формировании мясного баланса страны принадлежит свинине. Мясо свинины имеет хорошие вкусовые качества и содержит достаточное количество необходимых для питания человека белков, витаминов, аминокислот и минеральных веществ. Свиноводство является отраслью скороспелого животноводства. Экономическая эффективность свиноводства в значительной степени определяется техническим потенциалом отрасли. Технический

прогресс реализует достижения науки, с одной стороны, в виде новой техники, а с другой – через технологию и организацию производства. Несомненным направлением обеспечения конкурентоспособности промышленного производства свинины является построение интегрированных многоуровневых систем управления технологическими и производственными процессами. Концепцию компьютерно-интегрированного производства целесообразно реализовывать поэтапно, с использованием опыта, накопленного в промышленности (рис. 3.6).

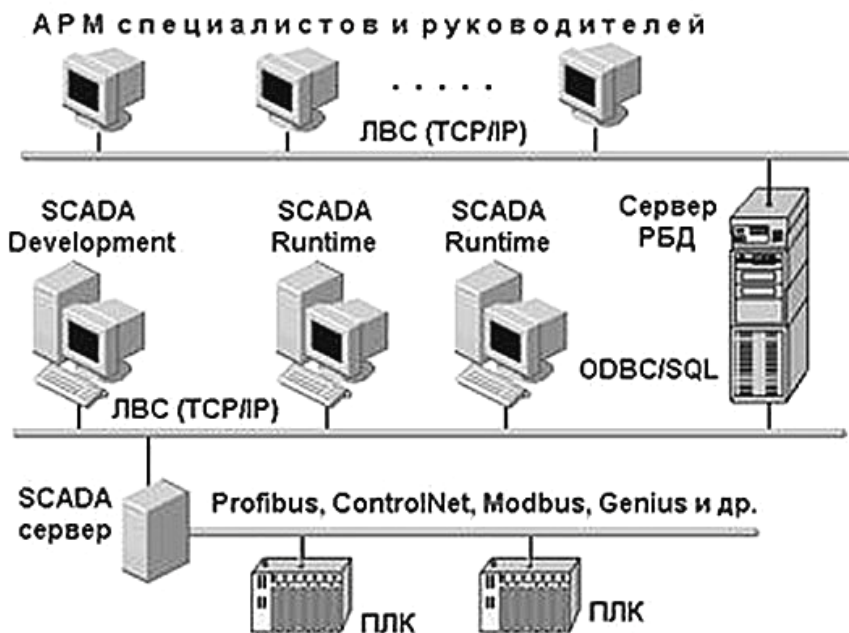


Рис. 3.6. Общая структура многоуровневой системы управления производством с использованием SCADA-технологий

Разработка систем управления сложными биотехническими объектами сельскохозяйственного производства должна базироваться на общесистемных программно-технических средствах общепромышленного применения, включая операционные системы, средства человеко-машинного интерфейса и языки программирования.

### **3.2.1. Общесистемные программно-технические средства. Операционные системы реального времени. SCADA-системы**

Существует несколько определений систем реального времени (СРВ) (real time operating systems (RTOS)), большинство из которых противоречит друг другу. Приведем некоторые из них, чтобы продемонстрировать различные взгляды на назначение и основные задачи СРВ:

1. Системой реального времени называется система, в которой успешность работы любой программы зависит не только от ее логической правильности, но и от времени, за которое она получила результат. Если временные ограничения не удовлетворены, то фиксируется сбой в работе систем.

Таким образом, временные ограничения должны быть гарантированно удовлетворены. Это требует от системы быть предсказуемой, то есть вне зависимости от своего текущего состояния и загруженности выдавать нужный результат за требуемое время. При этом желательно, чтобы система обеспечивала как можно больший процент использования имеющихся ресурсов.

Примером задачи, где требуется СРВ, является управление роботом, берущим деталь с ленты конвейера. Деталь движется, и робот имеет лишь небольшое временное окно, когда он может ее взять. Если он опоздает, то деталь уже не будет на нужном участке конвейера, и, следовательно, работа не будет сделана, несмотря на то, что робот находится в правильном месте. Если он позиционируется раньше, то деталь еще не успеет подъехать, и он заблокирует ей путь.

Другим примером может быть космический аппарат, находящийся на автопилоте. Сенсорные серводатчики должны постоянно передавать в управляющий компьютер результаты измерений. Если результат какого-либо измерения будет пропущен, то это может привести к недопустимому несоответствию между реальным состоянием систем космического аппарата и информацией о нем в управляющей программе.

Различают сильное (hard) и слабое (soft) требование реального времени. Если запаздывание программы приводит к полному нарушению работы управляемой системы, то говорят о сильном реальном времени (жесткие СРВ). Если же запаздывание ведет только к потере производительности, то говорят о слабом реальном времени (мягкие СРВ). Большинство программного обеспечения ориентировано на слабое реальное время, а задача хорошей СРВ – обеспечить



уровень безопасного функционирования системы, даже если управляющая программа никогда не закончит своей работы.

2. Стандарт POSIX 1003.1 определяет CPB следующим образом: «Реальное время в операционных системах – это способность операционной системы обеспечить требуемый уровень сервиса в заданный промежуток времени».

3. Иногда системами реального времени называют системы постоянной готовности (on-line системы), или «интерактивные системы с достаточным временем реакции». Обычно это делают фирмы-производители по маркетинговым соображениям. Если интерактивную программу называют работающей в реальном времени, то это означает, что она успевает обрабатывать запросы от человека, для которого задержка в сотни миллисекунд даже незаметна.

4. Часто понятие «система реального времени» отождествляют с понятием «быстрая система». Это не всегда правильно. Время задержки реакции CPB на событие не так уж важно (оно может достигать нескольких секунд). Главное, чтобы это время было достаточно для рассматриваемого приложения и гарантировано. Часто алгоритм с гарантированным временем работы менее эффективен, чем алгоритм, таким свойством не обладающий. Например, алгоритм «быстрой» сортировки (quicksort) в среднем работает значительно быстрее многих других алгоритмов сортировки, но его гарантированная оценка сложности значительно хуже.

5. Во многих важных сферах приложения CPB вводятся свои понятия «реального времени». Так, процесс цифровой обработки сигнала называют идущим в «реальном времени», если анализ (при вводе) и/или генерация (при выводе) данных может быть проведен за то же время, что и анализ и/или генерация тех же данных без цифровой обработки сигнала.

Например, если при обработке аудио данных требуется 2,01 секунды для анализа 2,00 секунды звука, то это не процесс реального времени. Если же требуется 1,99 секунды, то это процесс реального времени. Исходя из вышесказанного, дадим определение системы реального времени в следующей интерпретации.

Определение. Система реального времени реагирует в предсказуемое время на непредсказуемое появление внешних событий.

Это определение предъявляет к системе вполне определенные базовые требования.

## **Требования, предъявляемые к системам реального времени**

Своевременная реакция. После того, как произошло событие, реакция должна последовать не позднее, чем через требуемое время. Превышение этого времени рассматривается как серьезная ошибка.

Одновременная обработка информации, которая характеризует изменение процесса нескольких событий. Даже если одновременно происходит несколько событий, реакция ни на одно из них не должна запаздывать. Это означает, что система реального времени должна иметь встроенный параллелизм. Параллелизм достигается использованием нескольких процессоров в системе и/или многозадачным подходом.

Рассмотрим основные признаки систем жесткого и мягкого реального времени.

Признаки систем жесткого реального времени:

- недопустимость никаких задержек, ни при каких условиях;
- бесполезность результатов при опоздании;
- катастрофа при задержке реакции;
- цена опоздания бесконечно велика.

Пример системы жесткого реального времени – бортовая система управления самолетом.

Признаки систем мягкого реального времени:

- за опоздание результатов приходится платить;
- снижение производительности системы, вызванное запаздыванием реакции на происходящие события.

Пример – автомат розничной торговли и подсистема сетевого интерфейса. В последнем случае можно восстановить пропущенный пакет, используя сетевой протокол, повторяющий передачу пропущенных пакетов. При этом, конечно, произойдет снижение производительности системы.

Таким образом, различие между системами жесткого и мягкого реального времени определяется следующими требованиями: система называется системой жесткого реального времени, если она «не имеет права опаздывать», и мягкого реального времени – если ей «не следует опаздывать».

## ***SCADA-системы***

В настоящее время SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) является

наиболее перспективной технологией автоматизированного управления во многих отраслях промышленности.

В последние несколько десятилетий за рубежом резко возрос интерес к проблемам построения высокоэффективных и высоконадежных систем диспетчерского управления и сбора данных.

С одной стороны, это связано со значительным прогрессом в области вычислительной техники, программного обеспечения и телекоммуникаций, что увеличивает возможности и расширяет сферу применения автоматизированных систем.

С другой стороны, развитие информационных технологий, повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком и аппаратурой обострило проблему взаимодействия человека-оператора с системой управления. Расследование и анализ большинства аварий и происшествий в промышленности и на транспорте, часть из которых привела к катастрофическим последствиям, показали, что, если в 60-х годах XX века ошибка человека являлась первоначальной причиной лишь 20 % инцидентов, то в 90-х годах доля «человеческого фактора» возросла до 80 %, причем, в связи с постоянным совершенствованием технологий и повышением надежности электронного оборудования и машин доля эта может еще возрасти (рис. 3.7).

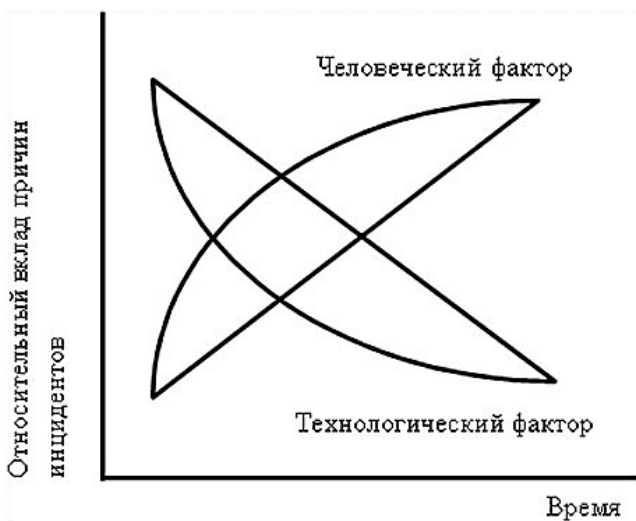


Рис. 3.7. Тенденции причин аварий в сложных автоматизированных системах

Основной причиной таких тенденций является старый традиционный подход к построению АСУ, который применяется часто и в настоящее время: ориентация, в первую очередь, на применение новейших технических (технологических) достижений, стремление повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы и в то же время недооценка необходимости построения эффективного человеко-машинного интерфейса (HMI – Human-Machine Interface), т. е. интерфейса, ориентированного на оператора.

Возникла необходимость применения нового подхода при разработке таких систем, а именно, ориентация в первую очередь на человека-оператора (диспетчера) и его задачи. Реализацией такого подхода и являются SCADA-системы, которые иногда даже называют SCADA/HMI.

Управление технологическими процессами на основе SCADA-систем стало осуществляться в передовых западных странах в 80-е годы XX века. В России переход к управлению на основе SCADA-систем стал осуществляться несколько позднее, в 90-е годы.

Системы оперативного диспетчерского управления и сбора данных – системы SCADA – являются неотъемлемой частью современных АСУ ТП и обеспечивают интерфейс между человеком и системой управления. SCADA-системы реализуют все основные функции визуализации измеряемой и контролируемой информации, передачи данных и команд системе контроля и управления.

Для процесса управления в современных диспетчерских системах характерны следующие особенности:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- процесс SCADA разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потере) объекта управления или даже катастрофическим последствиям;
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая при нормальных условиях только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;
- активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);

– действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

Современная АСУ ТП обязательно должна предусматривать также информационную связь с корпоративными системами управления предприятием – уровнем АСУП. В современной англоязычной и международной терминологии принято понятие ERP-системы (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия или MRP-системы (Manufacturing Resource Planning) – планирование ресурсов производства). Системы ERP (уровень «высшего руководства») ориентированы на предприятие в целом, а MRP – на его технологические подразделения.

В интегрированных системах управления предприятием между системами SCADA и ERP присутствует промежуточная группа систем, называемая MES (Manufacturing Execution Systems). Эта группа возникла вследствие обособления задач, не относящихся к ранее определенным группам SCADA и ERP. К системам MES принято относить приложения, отвечающие:

- за управление производственными и людскими ресурсами в рамках технологического процесса;
- за планирование и контроль последовательности операций технологического процесса;
- за управление качеством продукции;
- за хранение исходных материалов и произведенной продукции по технологическим подразделениям;
- за техническое обслуживание производственного оборудования;
- за связь систем SCADA и ERP.

### ***Определение SCADA-системы. Основные решаемые задачи***

SCADA (от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

SCADA-системы решают следующие задачи:

- обмен данными с «устройствами связи с объектом» (то есть с промышленными контроллерами и платами ввода-вывода) в реальном времени через драйверы;

- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление;
- отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК;
- обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.) (рис. 3.8).

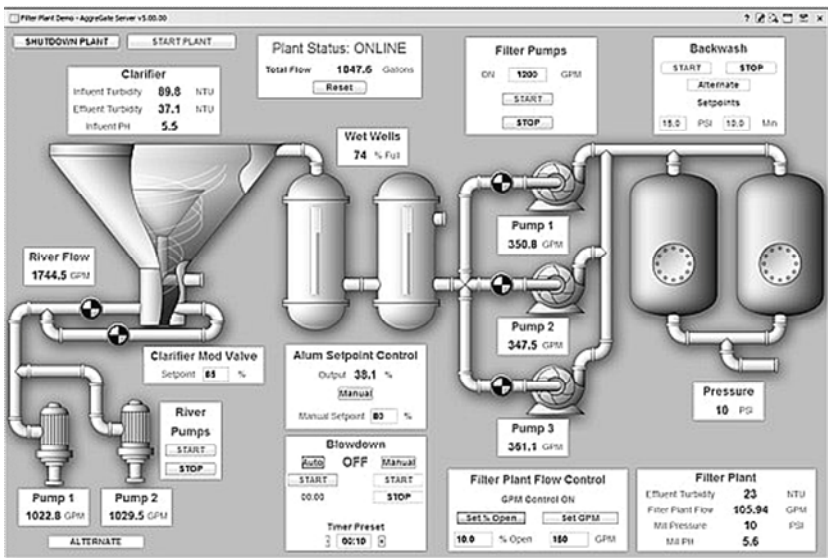


Рис. 3.8. Пример человеко-машинного интерфейса SCADA-системы

SCADA-системы предназначены для:

- более точного ведения технологического процесса, стабилизации качества продукции и уменьшения процента брака;
- уменьшения действий оператора, с целью концентрации его внимания на выработке более эффективных решений по управлению процессом;

- программного контроля правильности выработки команд дистанционного управления и, следовательно, минимизации количества ошибок, допускаемых операторами;
- автоматического выявления и оповещения об аварийных и предаварийных ситуациях;
- предоставления полной необходимой информации персоналу в виде различных отчетов;
- анализа факторов, влияющих на качество готовой продукции.

Термин SCADA обычно относится к централизованным системам контроля и управления всей системой, или комплексами систем, осуществляемого с участием человека. Большинство управляющих воздействий выполняется автоматически с помощью ПЛК. Непосредственное управление процессом обычно обеспечивается ПЛК, а SCADA управляет режимами работы. Например, ПЛК может управлять потоком охлаждающей воды внутри части производственного процесса, а SCADA-система может позволить операторам изменять уставки для потока, менять маршруты движения жидкости, заполнять те или иные емкости, а также следить за тревожными сообщениями (алармами), такими как – потеря потока и высокая температура, которые должны быть отображены, записаны, и на которые оператор должен своевременно реагировать. Цикл управления с обратной связью проходит через ПЛК, в то время как SCADA система контролирует полное выполнение цикла (рис. 3.9).

Сбор данных начинается на уровне ПЛК и включает показания измерительного прибора. Далее данные собираются и формируются таким способом, чтобы оператор диспетчерской, используя человеко-машинный интерфейс, мог принять контролирующие решения – корректировать или прервать стандартное управление средствами ПЛК. Данные также могут быть записаны в архив для построения трендов и другой аналитической обработки накопленных данных.

Кроме того, определяют пять функций человека-оператора в системе диспетчерского управления: обучение (программирование) компьютерной системы на последующие действия; отслеживание результатов полуавтоматической работы системы; вмешательство в процесс.

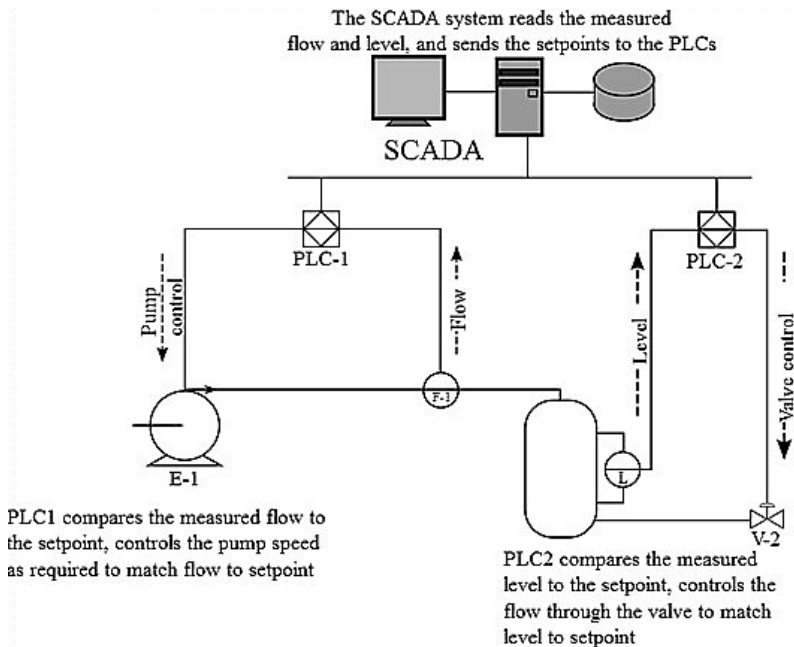


Рис. 3.9. Пример человеко-машинного интерфейса SCADA-системы

В случае критических событий, когда автоматика не может справиться с задачей управления и при необходимости подстройки (регулировки) параметров процесса, а также самообучение в процессе работы (получение опыта).

### ***Основные компоненты SCADA. Архитектура SCADA-систем***

Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента (рис. 3.10):

- Remote Terminal Unit (RTU) – удаленный терминал, подключающийся непосредственно к контролируемому объекту и управление в режиме реального времени. К RTU можно отнести датчики, исполнительные механизмы, УСО, микроконтроллеры, осуществляющие обработку информации и управление в режиме жесткого реального времени.

- Master Terminal Unit (MTU), Master Station (MS) – диспетчерский пункт управления (терминал), который осуществляет обработку данных и управление высокого уровня и обеспечивает



человеко-машинный интерфейс между человеком-оператором и системой. Реализуется в виде автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора (технолога и т. п.).

– Communication System (CS) – коммуникационная система (каналы связи) между RTU и MTU. Она необходима для передачи между удаленными точками (RTU) и диспетчерским пунктом управления (MTU). В качестве коммуникационной системы можно использовать различные проводные и беспроводные каналы связи.

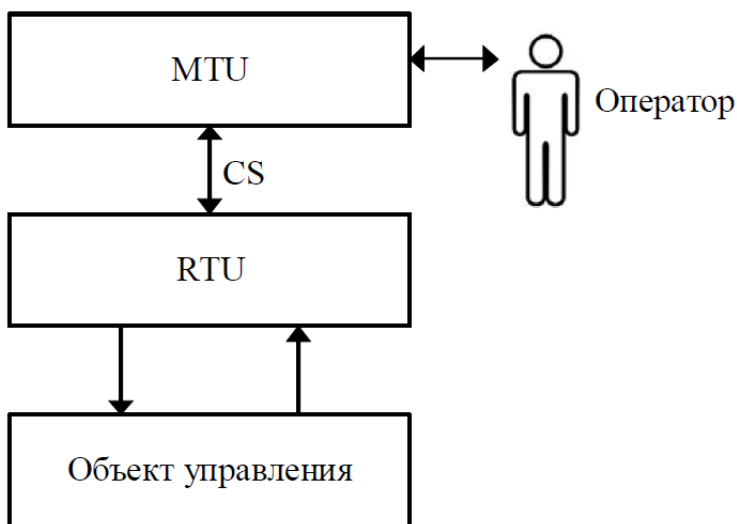


Рис. 3.10. Основные структурные компоненты SCADA-системы

На начальном этапе развития (80-е годы) каждый производитель микропроцессорных систем управления разрабатывал свою собственную SCADA-программу. Такие программы могли взаимодействовать только с узким кругом контроллеров, и по всем параметрам были закрытыми (отсутствие набора драйверов для работы с устройствами различных производителей и средств их создания, отсутствие стандартных механизмов взаимодействия с другими программными продуктами и т. д.).

С появлением концепции открытых систем (начало 90-х) программные средства для операторских станций становятся самостоятельным продуктом.

Концепция открытых систем предполагает свободное взаимодействие программных средств SCADA с программно-техническими средствами разных производителей. Это актуально, так как для современных систем автоматизации характерна высокая степень интеграции большого количества компонент. В системе автоматизации кроме объекта управления задействован целый комплекс программно-аппаратных средств: датчики и исполнительные устройства, контроллеры, серверы баз данных, рабочие места операторов, АРМы специалистов и руководителей и т. д. При этом в одной системе могут быть применены технические средства разных производителей.

Одной из первых задач, поставленных перед разработчиками SCADA, стала задача организации многопользовательских систем управления, то есть систем, способных поддерживать достаточно большое количество АРМ пользователей (клиентов). В результате появилась клиент - серверная технология или архитектура. Клиент – серверная архитектура характеризуется наличием двух взаимодействующих самостоятельных процессов – клиента и сервера, которые, в общем случае, могут выполняться на разных компьютерах, обмениваясь данными по сети.

Клиент-серверная архитектура предполагает, что вся информация о технологическом процессе от контроллеров собирается и обрабатывается на сервере ввода/вывода (сервер базы данных), к которому по сети подключаются АРМ клиентов (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Клиент-серверная архитектура SCADA-систем

Под станцией-сервером в этой архитектуре следует понимать компьютер со специальным программным обеспечением для сбора и хранения данных и последующей их передачи по каналам связи оперативному персоналу для контроля и управления технологическим процессом, а также всем заинтересованным специалистам и руководителям. По определению сервер является поставщиком информации, а клиент – ее потребителем. Таким образом, рабочие станции операторов/диспетчеров, специалистов, руководителей являются станциями-клиентами.

Сервер разделен на пять серверов, в соответствии с пятью задачами, которые он может выполнять:

- сервер ввода/вывода;
- сервер трендов;
- сервер тревог;
- сервер отчетов;
- сервер синхронизации времени.

Для небольших проектов все модули могут исполняться на одном компьютере. В проектах с большим количеством переменных модули можно распределить на несколько компьютеров в разных сочетаниях.

SCADA-программы имеют в своем составе два взаимозависимых модуля: Development (среда разработки проекта) и Runtime (среда исполнения). В целях снижения стоимости проекта эти модули могут устанавливаться на разные компьютеры. Например, станции оператора, как правило, являются узлами Runtime (или View) с полным набором функций человеко-машинного интерфейса. При этом хотя бы один компьютер в сети должен быть типа Development. На таких узлах проект разрабатывается, корректируется, а также может и исполняться.

### **Графический интерфейс**

Качество отображения информации на мнемосхемах определяется характеристиками графических возможностей пакетов. К ним можно отнести графический редактор, возможность создания объемных изображений, наличие библиотек и разнообразие графических заготовок и готовых объектов, богатство инструментария, многообразие динамических свойств элементов мнемосхем, форматы импортируемых изображений, наличие инструментария для создания растровых рисунков, наличие и возможности многооконных режимов и т. п.

При создании компонентов операторских интерфейсов (например, мнемосхем) разработчику приходится использовать графические объекты, представляющие собой технологические аппараты (колонны, емкости, теплообменники и т. д.), участки трубопровода и такие устройства, как клапаны, насосы, электродвигатели, контроллеры, компьютеры и т. д. Как правило, это сложные объекты, полученные объединением множества простых объектов или рисунки типа Bitmap.

Создание каждого из этих объектов требует большого времени и может значительно затянуть разработку проекта. Для ускорения работы над проектом практически все SCADA-пакеты предлагает разработчику библиотеки готовых объектов, включающие сотни и тысячи графических компонентов. Теперь нет необходимости рисовать объект и терять драгоценное время, если подобный объект есть в библиотеке. Достаточно открыть библиотеку объектов щелчком по соответствующей иконке инструментария, выбрать раздел, затем – объект и вставлять его в любые окна разрабатываемого интерфейса. Операция вставки готового объекта занимает всего несколько секунд.

Разработчику надо лишь выбрать требуемый объект из библиотеки, вставить его в графическую страницу и в появившийся на экране диалог ввести имя/имена переменной/переменных.

### ***SCADA-система Simatic WinCC***

SCADA-система WinCC разработана компанией Siemens.

В настоящее время этот программный продукт занимает первое место в Европе среди SCADA-систем и третье место в мире. В 1999 году появилась пятая версия этой системы. Она базируется на операционных системах Windows 95/98/NT, является открытой и масштабируемой.

В основной комплект поставки WinCC входят следующие опции:

- Alarm Logging – для подготовки, отображения, квитирования и архивирования сообщений;
- User Administrator – для управления доступом к ресурсам WinCC;
- Text Library – позволяет создавать библиотеку соответствий между словами для переключения языков;
- Report Designer – встроенный генератор отчетов;
- Global Scripts – редактор, с помощью которого можно писать С-функции для обработки событий;

– Tag Logging – система архивирования данных. Совместно с редактором предоставляются средства для табличного и графического отображения значений в базе данных;

– Graphics Designer – редактор для рисования мнемосхем.

### **Система сообщений**

Сообщения предоставляют оператору информацию о рабочих и аварийных состояниях технологического процесса. Сообщения информируют оператора о критических ситуациях на самых ранних стадиях их возникновения, поэтому позволяют сократить время простоя.

В процессе проектирования определяются события процесса, которые будут инициировать появление соответствующих сообщений. Например, событием может быть установка определенного бита в контроллере системы автоматизации или превышение предельных значений параметров (выход за уставку значения параметра).

Система сообщений состоит из компонента проектирования и компонента исполнения. Компонентом проектирования системы сообщений является редактор Alarm Logging [Регистрация аварийных сообщений]. В редакторе Alarm Logging [Регистрация аварийных сообщений] определяются события, при которых появляются соответствующие сообщения, а также содержание сообщений. В графическом редакторе Graphic Designer [Графический дизайнер] есть специальный графический объект WinCC Alarm Control [Окно отображения сообщений WinCC], в котором могут отображаться сообщения, сконфигурированные в редакторе Alarm Logging [Регистрация аварийных сообщений].

Компонентом исполнения системы сообщений является Alarm Logging Runtime [Система исполнения регистрации аварийных сообщений]. При исполнении проекта Alarm Logging Runtime [Система исполнения регистрации аварийных сообщений] отвечает за выполнение определенных задач контроля. Система исполнения также осуществляет управление операциями вывода сообщений и квитирования отображаемых сообщений.

Сообщения отображаются в табличном виде в WinCC Alarm Control [Окне отображения сообщений WinCC].

### **Система архивирования и регистрации**

Назначением системы архивирования значений процесса является сбор, обработка и архивирование данных, поступающих от промышленной установки. Полученные таким образом данные могут

использоваться для выявления ключевых управленческих и технологических критериев, которые бы позволяли оценить работу установки.

В режиме исполнения значения процесса, которые необходимо архивировать, собираются, обрабатываются, а затем сохраняются в архивной базе данных. В режиме исполнения можно вывести и посмотреть текущие или архивные значения процесса в виде тренда или в виде таблицы. Кроме того, архивные значения процесса можно распечатать в виде журнала.

Конфигурирование параметров архивирования осуществляется в редакторе Tag Logging [Регистрация тегов]. В этом редакторе конфигурируются архивы значений процесса и вторичные архивы, определяются циклы сбора и архивирования данных, а также выбираются те значения процесса, которые необходимо архивировать.

В Graphics Designer [Графическом дизайнере] можно сконфигурировать элементы управления ActiveX для отображения данных процесса в режиме исполнения. Выводить данные на экран можно в виде трендов и таблиц.

При конфигурировании в Report Designer [Дизайнере отчетов] определяется, в каком виде архивные данные процесса выводятся в журнал регистрации данных. Значения процесса в журнале регистрации данных могут быть представлены в табличной форме или в виде тренда.

В архивировании значений процесса участвуют следующие подсистемы WinCC (рис. 3.12):

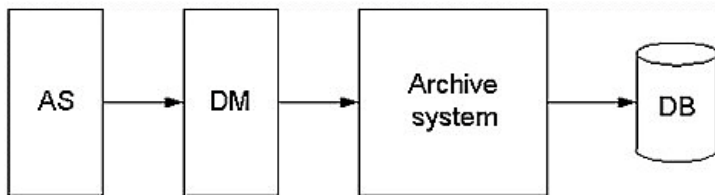


Рис. 3.12. Структура программного модуля архивирования значений процесса

– Automation system [Система автоматизации] (AS): сохраняет значения процесса, которые передаются WinCC с помощью коммуникационных драйверов;

- Data manager [Менеджер данных] (DM): обрабатывает значения процесса и возвращает их в систему архивирования через теги процесса;
- Archive system [Система архивирования]: обрабатывает полученные значения процесса (например, формирует среднее значение). Метод обработки зависит от того, каким образом сконфигурирован архив;
- Runtime database [База данных системы исполнения] (DB): хранит архивируемые значения процесса.

### Подсистема рецептов в SCADA-системе Simatic WinCC

Рецепты – это комбинации программных переменных (тегов) для определенной цели. Цель использования рецептов заключается в совместной передаче данных в программируемый логический контроллер (ПЛК). Это включает синхронизацию между операторской панелью (ОП) и ПЛК.

Используя пример картотеки, определим термины *Рецепт* и *Запись*, т. к. они важны для дальнейшего понимания процесса (рис. 3.13).

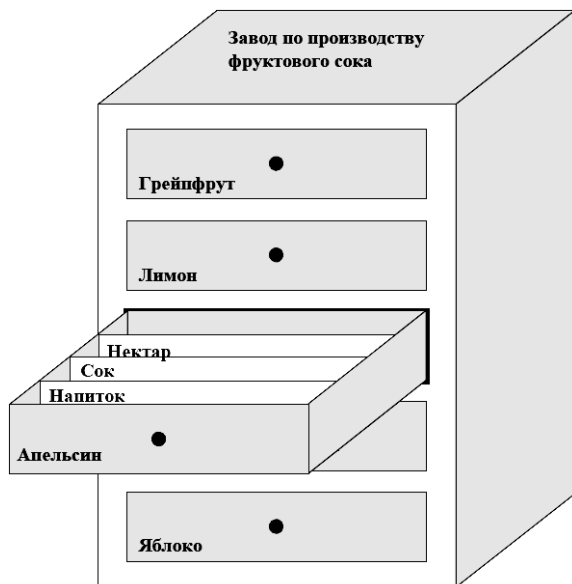


Рис. 3.13. Пример рецепта и записи по аналогии картотеки

*Рецепт* соответствует отдельному ящику каталога (т. е. грейпфрут или лимон). Для каждого ящика определены ссылочные поля (теги)

на конкретные рецепты. Рецепт задает структуру данных. Эта структура не может быть изменена впоследствии с операторского терминала.

*Записи* соответствуют карточкам в каждом ящике каталога (напиток, сок и нектар). Запись содержит конкретные значения для рецепта. Записи создаются, изменяются и удаляются в операторском терминале. Кроме того, они хранятся в операторском терминале, что экономит память PLC.

Пример использования рецепта – его применение на разливочной станции комплекса по производству фруктового сока. Одна и та же разливочная станция используется для производства апельсинового напитка, апельсинового сока и апельсинового нектара. Соотношение смесей в каждом случае разное, но ингредиенты одни и те же (рис. 3.14).

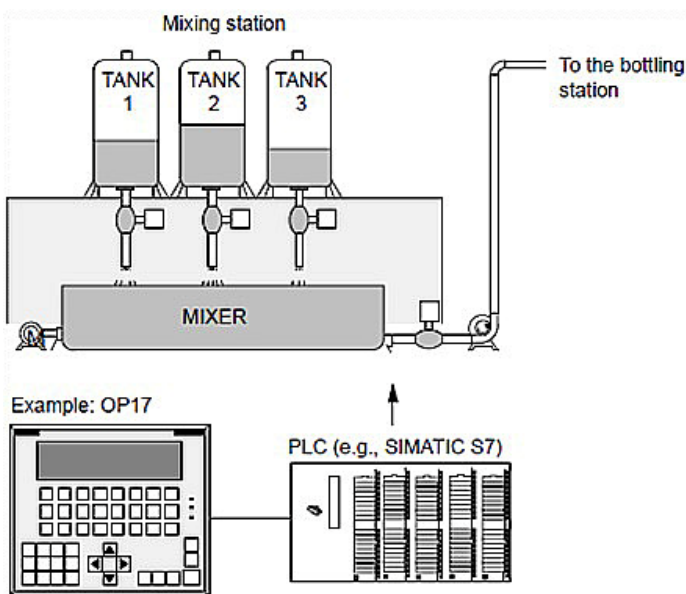


Рис. 3.14. Схематическое изображение оборудования линии многокомпонентного смешивания

Предположим, что есть *рецепт «Смесь»*, представляющий собой следующую структуру данных (табл. 3.1).



Таблица 3.1

Структура данных рецепта «Смесь»

Переменная	Тип данных	Комментарий
orange	Real	Требуемый объем концентрата апельсинового, л.
water	Real	Требуемый объем воды, л.
sugar	Int	Требуемая масса сахара, кг
flavoring	Int	Требуемая масса ароматизатора, кг

Обозначения тегов «orange», «flavoring» и т. д. – это так называемые *имена полей*. Имена полей отображаются также в операторском терминале. Таким образом, например, тег «orange» может быть идентифицирован как тег, обозначающий компонент смеси апельсин. Пропорции смешивания разные для каждого напитка, но ингредиенты всегда идентичны.

Рецепт состоит из серии записей рецепта. Записи содержат значения ингредиентов для различных напитков (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Структура данных рецепта «Смесь»

Название напитка	Апельсиновый напиток	Апельсиновый сок	Апельсиновый нектар
Ингредиенты			
orange	90	95	70
water	10	5	30
sugar	1,5	0,5	1,5
flavoring	0,2	0,1	0,4

На операторской панели тегам, назначенным полям ввода, присваиваются значения и хранятся в памяти операторской панели. Вместе эти значения образуют одну запись данных рецепта. Все записи данных хранятся в памяти операторской панели. Только запись данных, активная в текущий момент времени, сохраняется в памяти ПЛК. Это экономит место в памяти ПЛК.

Ниже перечислены основные шаги для конфигурирования рецепта:

1. Определение структуры рецепта: назначьте теги в структуре рецепта. Теги связываются с полями записей. Определите имя рецепта. Это имя используется для выбора рецепта в проекте и в операторском терминале.

2. Настройка тегов рецепта: в Simatic HMI можно задать следующие опции:

– Synchronize Tags (Синхронизировать теги) – эта опция указывает, что данные записи читаются из PLC или носителя и записываются в тег или читаются из тегов, сконфигурированных для рецепта. Это устанавливает связь между тегами, сконфигурированными в рецепте и тегами экранных форм. При загрузке записи значения записываются в теги, использующиеся на экранных формах.

– Tags Offline (Теги отключены) Если данная опция также включена, введенные значения записываются только в теги, и в PLC не передаются. В противном случае, введенные значения передаются прямо на PLC.

3. Определите носитель записей операторского терминала. Область хранения записей подлежит конфигурированию. В зависимости от целевого устройства существуют следующие возможности: любой путь любого диска; встроенная FLASH память; плата памяти (PC плата).

4. Задайте синхронизацию загрузки. Можно задать режимы загрузки записей в PLC с синхронизацией или без.

5. Создание экранной формы рецепта. Сконфигурируйте одну или более экранную форму для создания, хранения и загрузки записей в операторский терминал.

Редактирование записей в операторской панели.

Записи в операторском терминале могут редактироваться в таблицах или экранных формах.

Редактирование в форме таблицы. Для редактирования записей предусмотрено окно редактирования рецепта. Оно предоставляет простой и быстрый способ работы с записями и в основном используется для редактирования записей в небольших рецептах. Значения, вводимые на операторском терминале, не передаются непосредственно в ПЛК.

Редактирование в экранных формах.

Разработчик проекта может использовать экранные формы рецепта для настройки интерфейса пользователя, для редактирования записей и визуальной отладки системы с использованием графики экранных форм и специальных шаблонов ввода записей.

Этот метод обычно используется при обработке средних и больших записей в автономном режиме, в окне просмотра рецепта. Значения, введенные с операторского терминала, записываются в теги, но непосредственно в ПЛК не передаются.

### **3.2.2. Техничко-экономические предпосылки информатизации производства свинины**

Для интенсификации процессов воспроизводства, выращивания и откорма свиней в России, Республике Беларусь и других странах СНГ построены многочисленные крупные механизированные и частично автоматизированные комплексы с замкнутым циклом производства 6, 12, 24, 54, 108 и 216 тысяч свиней в год. Промышленные комплексы насыщены сложным технологическим оборудованием, поточно-транспортными линиями и средствами автоматизации. Вместе с тем полная реализация технического потенциала возможна только, если использование технических ресурсов основано на прогрессивных организационно-технологических решениях. Сложные биотехнические системы, какими являются действующие свиноводческие комплексы, требуют адекватных интегрированных систем управления. Примитивизация систем управления, переход на ручное управление технологическими процессами приводит к неэффективному использованию генетического потенциала животных и дорогостоящих ресурсов, что приводит к повышению себестоимости производства свинины и снижению ее конкурентоспособности.

Производственная структура типового свиноводческого комплекса включает два обособленных подразделения – цеха воспроизводства и откорма (рис. 3.15).

Для свиноводческого комплекса, спроектированного на производство 54 000 голов свиней в год, предусмотрено поступление раз в 4 дня 600 голов молодняка массой около 40 кг из цеха воспроизводства в цех откорма. Соответственно, при плановых суточных привесах 600 г через 100 дней откормленные свиньи массой 100 кг

должны поступать на переработку. Однако, как показывает практика, простая, на первый взгляд, схема дает многочисленные сбои.

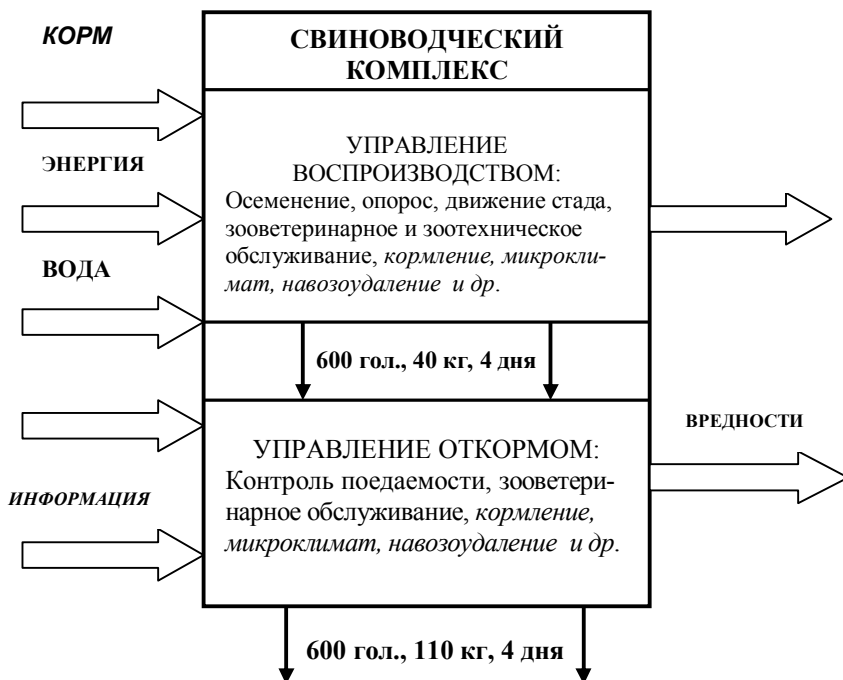


Рис. 3.15. Обобщенная структура свиноводческого комплекса

Для реализации данной технологии цех откорма включает 30 обособленных секторов, разбитых на 5 линий раздачи жидких кормов, причем каждый из секторов содержит по 24 групповых станка с возможностью размещения до 25 голов откормочного поголовья.

Производственная структура комплекса представляет собой совокупность объединенных функциональными и управляющими связями цехов и участков с большим количеством различных половозрастных групп. Их основная функция – получение планируемых объемов животноводческой продукции заданного качества. Достижение данной цели в решающей степени зависит от управления технологическими процессами обслуживания свиней.

Погрешности в нормированном кормлении отрицательно сказываются на продуктивности свиней и экономических показателях производства. Так, при снижении нормы на 10 %...20 % среднесуточные привесы уменьшаются на 100...200 граммов. Перекорм животных также наносит ущерб, поскольку в этом случае на стадии откорма в теле свиней снижается удельный вес мышечной и костной ткани и увеличивается жировой, т. е. животные плохо «оплачивают» корм, переводя его в энергоемкое и не пользующееся спросом сало.

На здоровье и продуктивность свиней, а также их воспроизводительные функции отрицательно влияют температурные стрессы, высокая или низкая влажность воздуха. Так при снижении температуры воздуха в помещениях для откорма свиней до 3 °С...6 °С удельный расход кормов увеличивается на 13,6 %...30,7 %.

В то же время типовая релейно-контактная автоматика отечественных комплексов не обеспечивает зоотехнические требования к процессам кормления и микроклимата в силу функциональной недостаточности и низкой надежности.

Поэтому актуальной является модернизация поточных линий приготовления и раздачи кормов и поддержания параметров микроклимата на базе современной микропроцессорной техники. Такой путь, требующий относительно небольших финансово-материальных затрат, позволяет резко повысить эффективность производства. Выбор рациональных направлений реконструкции комплексов требует изучения состояния дел на комплексах и передовых научно-технических достижений в этой области.

### **3.2.3. Построение интегрированных систем в свиноводстве**

Анализ зарубежного опыта указывает на массовое внедрение компьютерных систем управления в сельскохозяйственное производство. На международных конференциях внедрение новых информационных технологий в управление производством рассматривается как одно из приоритетных направлений развития. Так, в концептуальных докладах утверждается: «Важным направлением в области автоматизации и информатизации электрифицированного сельскохозяйственного производства является создание автоматизированных систем управления для нормированного

кормления животных, основанных на информационных технологиях и базах данных о животных».

Сложность объекта управления, недостаточность средств получения и переработки информации, приводит к тому, что многие управленческие решения на разных уровнях принимаются интуитивно.

Производство свинины носит интегрированный характер, и эффективность его определяется согласованным решением зоотехнических, ветеринарных технологических и экономических задач, однако на практике уровень взаимодействия достаточно низок. Новое поколение систем управления, основанное на достижениях новых информационных технологий, позволяет преодолеть данное противоречие путем создания интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ). Могут быть выделены следующие уровни иерархически связанных целей производства.

*1 уровень.* Производственно-технологические цели, которые определяют соблюдение параметров технологии, плановых параметров производственных звеньев. Достижению этих целей могут способствовать комплекс средств микропроцессорного управления основными поточно-механизированными линиями.

*2 уровень.* Техничко-экономические цели предприятия, включая оптимизацию производства по обоснованным критериям. Для их достижения, как правило, недостаточно локальных ресурсов, а требуется согласованное взаимодействие АСУТП, АСУП, АСНИ и других систем, их комплексирование. Примером таких целей является достижение заданного (минимального) значения себестоимости.

*3 уровень.* Цели стратегические, связанные с прогнозированием, выбором вида продукции, способа ее производства и т. д.

Но, ведя разработку по принципу снизу–вверх, от создания отдельных поточно-механизированных линий с микропроцессорным управлением, необходимо предусматривать их последующую горизонтальную и вертикальную интеграцию (рис. 3.16.). Автоматизация нижнего уровня создает надежные предпосылки автоматизации среднего и верхнего уровней управления предприятием. Кормление и микроклимат – наиболее сложные и дорогие процессы

в производстве свинины и их автоматизация является первоочередной задачей. Программно-технической основой АСУ ТП должны стать микропроцессорные контроллеры общепромышленного применения. Существенным и неотъемлемым свойством АСУ ТП сельскохозяйственного назначения должна стать функциональная диагностика технологического оборудования. Использование знаний о возможных отказах и их проявлениях может существенно повысить надежность выполнения технологического процесса, что является несомненным преимуществом информационных технологий управления.

Новые технологии управления, основанные на идеологии локальных вычислительных сетей и общих баз данных, создают принципиальную возможность преодоления существующей локальности управления производством свинины. Сложность задач интеграции управления состоит в том, что традиционно решением задач различных уровней управления, начиная с нижнего уровня непосредственного управления технологическими процессами, включая задачи уровня участка-цеха и заканчивая задачами верхнего – уровня предприятия занимаются совершенно разные специалисты и используют сложно совместимые программно-технические средства. До тех пор, пока эти уровни управления функционируют между собой, по крайней мере в программно-аппаратном смысле, независимо друг от друга такое положение дел не вызывает особых трудностей. Но, ставя перед собой задачу создания трехуровневой информационно-управляющей системы, обеспечивающей совместимость алгоритмическую, информационную и аппаратную, мы уделили значительное внимание анализу подобных технологий с учетом последних тенденций решения таких сложных задач. Анализ литературы и новейших научно-технических разработок, как отечественных, так и зарубежных, показывает, что для связи с ЭВМ верхнего уровня разработчики АСУ ТП используют разнообразные SCADA и ограничиваются задачами визуализации, накопления статистики, учета аварий и т. п., не ставя перед собой задачи интеграции с задачами уровня управления предприятия (см. рис. 3.16).

**Верхний уровень:**  
 прогноз развития,  
 анализ функций  
 планирования,  
 экономические  
 задачи и другие.

**Средний уровень  
 (управления цехом):**  
 задание параметров  
 технологических  
 процессов,  
 учет расхода ресур-  
 сов, учет продукции,  
 другие.

**Нижний уровень  
 (управление  
 технологическими  
 процессами):**  
 прием корма,  
 приготовление и  
 раздача корма,  
 поддержание  
 микроклимата  
 и т. д.

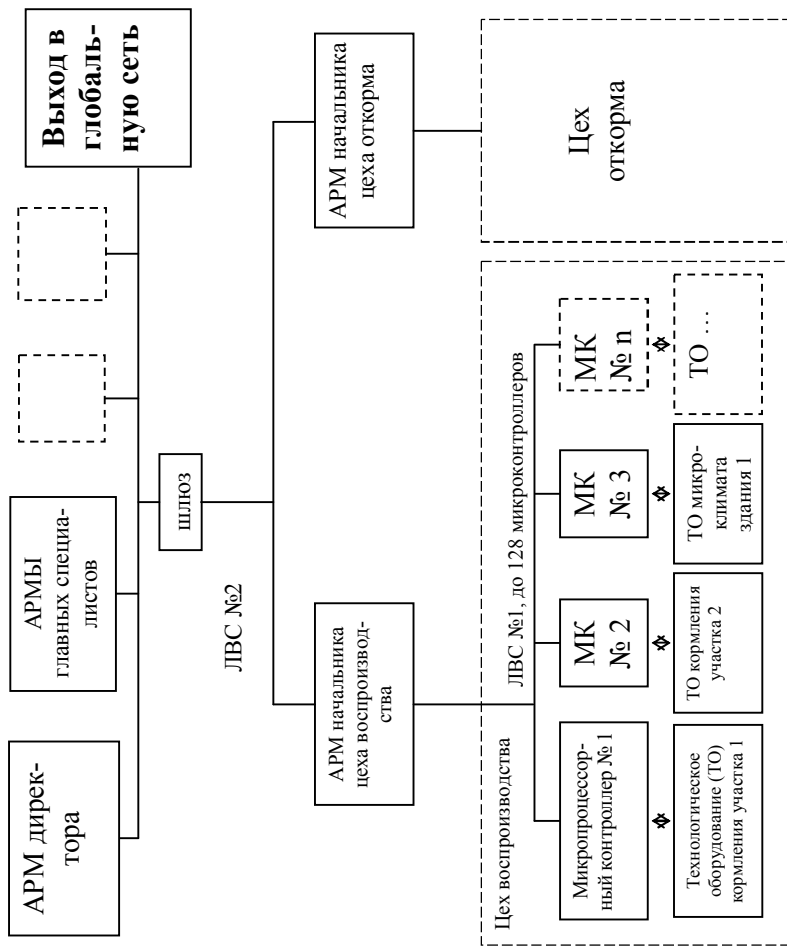


Рис. 3.16. Примерная структура ИАСУ промышленного свиногомплекса



### 3.2.4. Разработка структуры и алгоритма двухуровневой модели системы управления производственным участком промышленного свиного комплекса

Анализ возможных подходов к решению задач по автоматизации участка откорма свиного комплекса показал перспективность, в качестве первого шага к интеграции, двухуровневой структуры системы, где на верхнем уровне осуществляется ведение базы данных по животным и решаются задачи по определению алгоритма функционирования нижнего уровня непосредственного управления технологическими процессами (рис. 3.17).

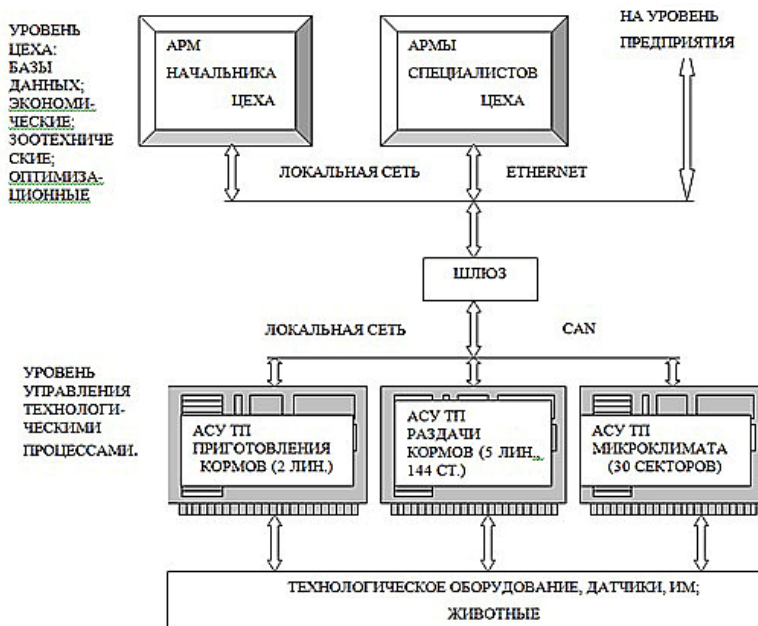


Рис. 3.17. Двухуровневая структура управления ПМЛ для откорма свиней

Первоочередными задачами для производства являются упорядочение процессов кормления свиней. Поэтому на данном этапе основное внимание было уделено следующим вопросам (см. рис. 3.17):

– программно-технической реализации базы данных по животным, с учетом их мест содержания, сроков постановки на откорм и т. д.;

- программной реализации динамической модели откорма свиней;
- расчету оптимальных по экономическим критериям доз кормления по групповым станкам производственных помещений участка откорма;
- программно-технической реализации обмена контроллер – ПЭВМ по протоколу DDE, созданию лабораторной модели двухуровневой АСУ и проведению исследовательских испытаний.

Аппаратная реализация данной информационной структуры требует наличия персональной электронной вычислительной машины (ПЭВМ) и микропроцессорных программируемых контроллеров. На ПЭВМ, работающей под управлением операционной системы (ОС) Windows, возлагаются задачи ведения базы данных по животным, нормативно-справочной информации, решение прикладных задач в качестве первоочередной выступает расчет групповых доз корма по производственным помещениям свиного комплекса и обеспечение обмена с микропроцессорными контроллерами. На микропроцессорные контроллеры возлагаются задачи обмена данными с ПЭВМ и непосредственное управление технологическим оборудованием свиного комплекса. Аппаратно обмен между ПЭВМ и микропроцессорными контроллерами организуется по стандартному интерфейсу RS -232 С (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Структура информационного обеспечения двухуровневой системы выбора и управления поточно-механизированными линиями откорма свиней

Для ведения базы данных по животным выбрано стандартное приложение Microsoft Office реляционная база данных Microsoft Access. Математическая модель откорма свиней реализована в среде программирования Delphi. Обмен данными между Windows приложениями и управляющей технологической программой осуществляется с использованием технологии DDE.

Нижний уровень управления ориентирован на использование системы автоматизации B&R 2000. Аппаратно система содержит три класса контроллеров – 2003, 2005 и 2010, а также Power Panel PP21 и PP41, каждый из которых, в свою очередь, может быть сконфигурирован под свою задачу. Такой подход позволяет легко выбрать соответствующую аппаратную платформу под конкретную задачу. SYSTEM 2000 обеспечивает выполнение логических и аналоговых функций, сбор и накопление данных, учет аварий и статистический анализ. SYSTEM 2000 имеет многозадачную операционную систему реального времени, специально адаптированную к задачам управления технологическими процессами. Система программирования Automation Studio упрощает конфигурирование и программирование задач автоматизации. Технологические параметры и данные управляемого процесса адресуются символически. Аппаратные средства автоматически распознаются и поддерживаются системой программирования. Automation Studio позволяет программировать на всех стандартных языках: Automation Basic, ANSI-C, IEC 61131-3-лестничные диаграммы (LAD), список команд (IL), структурированный текст (ST), последовательная функциональная схема (SFC), редактор модулей данных и редактор типов данных.

Одним из базовых и инвариантных элементов создаваемой системы является база данных по животным участка откорма. Эта база содержит следующие основные сведения.

Здание № 1 (всего 5 зданий)

сектор №1(всего 6 секторов в каждом здании)

станок №1 (всего 24 станка в секторе)

занят/свободен, ремонт, санобработка.

Свиньи в групповом станке:

Число 0..25;

Дата постановки на откорм

Начальная масса

Половозрастные характеристики  
Порода  
Суммарный расход корма на станок/голову  
Текущая масса станок/голова  
Планируемая доза корма на следующее кормление 0...200 л.  
Структура НСИ (нормативно-справочной информации):  
День откорма (масса свиньи)  
Марка комбикорма  
Норма расхода комбикорма на одну голову

Задача 1. Расчет текущей дозы жидкого корма для группового станка.

1.1 По нормам кормления

1.2 По планируемыми привесам

Задача 2. Прогнозирование привесов по групповым станкам.

Основу для решения данной задачи составляет динамическая модель откорма свиней, разработанная в 2002 году [3].

Задача 3. Суммарный расход корма за текущий период откорма на станок/голову.

Задача 4. Себестоимость откорма сектор/станок.

Задача 5. Учет/планирование наличия комбикорма.

Задача 6. Расчет параметров микроклимата по секторам. Температура. Объем вентиляции.

Как для пользователей, так и для разработчиков Microsoft Windows предлагает множество преимуществ, которые включают в себя:

- MS Windows и другие программные продукты.
- Межпрограммное взаимодействие и связь.
- Многозадачность: возможность одновременно запускать множество программ.
- Доступ к большему объему памяти: MS Windows поддерживает защищенный режим. Для разработчиков эти преимущества включают в себя:
  - Непосредственную поддержку широкого диапазона периферийных устройств ввода-вывода.
  - Богатую библиотеку графических подпрограмм.
  - Больше памяти для больших программ.
  - Взаимодействие между программами через интерфейсы, поддерживаемые программами и самой операционной системой.

- Большинство лицензионного программного обеспечения написано для платформы MS Windows, в том числе и B&R Automation, что является решающим фактором при выборе операционной системы.

К недостаткам MS Windows и других программные продукты Microsoft следует отнести то, что система не свободного распространения и требует лицензионного соглашения. Это приводит к дополнительным затратам при разработке системы, которые связаны с покупкой лицензии на ПО Microsoft и B&R Automation.

### **Обоснование выбора реляционного типа базы данных**

Реляционные базы данных (БД) обладают следующими преимуществами:

- Быстрота разработки БД и при модернизации.
- Удобство работы с БД.
- Все современные программные продукты используют реляционную модель данных. К ним относятся MS Access, MS SQL Server, Oracle и Borland Database.

В лабораторной модели (рис. 3.19) информация о текущих параметрах технологического процесса откорма передается из контроллера в персональный компьютер. Далее эта информация обрабатывается, и необходимые управляющие воздействия передаются через интерфейс PVI на нижний уровень системы управления. Такой цикл управления дает возможность корректировать процесс откорма с целью его оптимизации.

Выбор ПО для разработки и использования БД сложен и зависит от многих факторов, но в первую очередь от доступности ПО и количества пользователей работающих с БД. Для начала выбран MS Access, так как он широко распространен и наиболее удобен в использовании.

В проекте предусмотрена возможность перехода на любую другую реляционную БД на платформе MS Windows с поддержкой технологий ADO или OLE DB. В начале работы программы связи неактивны соединения с базой данных и DDE сервером. Оператор подключает программу к базу данных и DDE серверу. Связь с базой данных осуществляется по интерфейсу ADO. Поэтому перед подключением оператор должен проверить правильность имени базы данных и опции подключения. Программа помнит предыдущее подключение. При подключении программа связи проверяет последний день связи с базой данных.

Последовательное увеличение объемов получаемой и перерабатываемой информации, начиная с совершенствования поточно-механизированных линий приготовления и раздачи кормов, позволит улучшать параметры откорма. Упорядочив процессы кормления и микроклимата, можно решать задачи по оптимизации производства в целом, включая учет и прогноз.

### **3.2.5. Эффективность точного управления биотехническими процессами сельскохозяйственного производства**

Стратегия развития сельского хозяйства Беларуси в XXI веке в качестве магистрального направления рассматривает крупные комплексно механизированные и автоматизированные предприятия по производству и хранению сельскохозяйственной продукции. При этом опыт эксплуатации действующих свиноводческих комплексов выявил несовершенство технологического оборудования и наличие ошибок оператора в условиях интенсивного поточного производства. Так, отклонения параметров кормления и микроклимата от нормируемых значений достигают 10 %...30 %. Все это приводит к снижению привесов животных, значительному перерасходу и прямым потерям кормов, тепловой и электрической энергии, повышению себестоимости и снижению конкурентоспособности продукции.

Формирование рациональных условий кормления и содержания свиней, осуществление энерго- и ресурсосберегающих режимов, улучшение условий и повышение престижности труда работников комплексов выдвигают проблему создания высокоточных и надежных поточных технологий производства с идентификацией характеристик животных и возможностью их адаптации к условиям конкретного свиноводческого комплекса. Научно обоснованная модернизация промышленного свиноводства позволит с минимальными затратами достичь значительного технологического эффекта за счет повышения продуктивности свиней и снижения потерь кормов и энергоресурсов

Одним из основных вопросов необходимости автоматизации производства свинины с применением микропроцессорной техники является эффективность нововведения, т. е. зачем это нужно [1]. Чтобы уменьшить разнообразие системы, в качестве объекта выбираем

процесс откорма свиней в условиях типового промышленно свиного комплекса. Для реализации промышленной технологии цех откорма включает 30 обособленных секторов, разбитых на 5 линий раздачи жидких кормов, причем каждый из секторов содержит по 24 групповых станка с возможностью размещения до 25 голов откормочного поголовья. Откорм свиней является выходной функцией производства свинины, высокомеханизированным процессом, что создает предпосылки высокой эффективности его автоматизации. Причем откорм интегрирует физические, биологические и экономические процессы, относится к нестационарным, стохастическим объектам и требует построения адекватных систем управления [2].

Затраты на корма и поддержание микроклимата составляют более 80 % от всех затрат при производстве свинины. Поэтому именно автоматизация процессов кормления и поддержания микроклимата является одной из первоочередных задач снижения себестоимости производства свинины.

Дадим количественную оценку влияния неоптимального управления, включающее несоблюдение норм кормления и параметров микроклимата на привесы свиней и другие экономические показатели откорма. Для этого, в первую очередь, необходимо построить математическую модель, где в качестве входа будет выступать выданная доза корма, а в качестве выхода – привес животного.

Важнейшим элементом биотехнической системы является животное, а суточный привес свиней на откорме является одним из основных показателей. При этом в настоящее время нет приемлемых инструментальных средств оперативного определения этого показателя при существующих технологиях группового содержания животных.

При выборе вида зависимости суточной прибавки массы животных от параметров кормления были приняты к выполнению следующие допущения:

- отклонения для оценки привеса свиней от данных зоотехнических опытов не должны превышать 3 %...5 %, что вполне удовлетворяет решению поставленных задач;
- диапазон изменения массы животных от 30 до 130 кг;
- модель привеса свиней должна обладать устойчивостью по отношению к результатам различных зоотехнических опытов (такая модель должна обладать биологической интерпретацией).

С учетом результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований, получена аналитическая зависимость динамики суточной прибавки  $P(m)$  для животного с массой  $m$ :

$$P(m) = P_{100} \left( \frac{m}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{D - D_{pod}}{D + D_{pod}} \right),$$

где  $P_{100}$  – потенциально возможный суточный привес животного массой 100 кг (для определенных породы и условий содержания, кормления), кг;

$D$  и  $D_{pod}$  – дозы кормления и поддерживающая, кормовых единиц (к. е.).

При этом поддерживающая доза определяется следующим образом:

$$D_{pod} = k(m)^{0,75},$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от энергосодержания 1 к. е. используемого корма, к. е./кг<sup>0,75</sup>.

1. Такой коэффициент определяется из условия необходимого суточного количества энергии 420 кДж/кг<sup>0,75</sup> для поддержания жизнедеятельности животного.

Модель (1) и (2) обладает устойчивостью на результаты различных зоотехнических опытов и настраивается путем подбора двух коэффициентов:  $P_{100}$  и  $k$ . Модель суточной прибавки массы животных от параметров кормления позволяет:

- оценить влияние погрешности дозирования корма на прибавку массы животных;
- оптимизировать дозы кормления (затраты на корм составляют около 75 % от общих затрат на производство свинины);
- построить модели прогнозирования управления промышленным производством свинины (корректировать дозы кормления в зависимости от изменения прибавки массы в течение всего периода откорма).

2. На основе зависимостей (1) и (2) решена задача оценки влияния погрешности дозирования корма на прибавку массы свиней



и получено аналитическое выражение для среднего значения  $P_{\text{факт}}$  фактической прибавки массы животного при наличии нормально распределенных флуктуаций доз корма относительно нормированного значения

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{ном}} - 2 P_{100} \left( \frac{m}{100} \right)^{0,25} \left( \frac{D_{\text{под}}}{(D + D_{\text{под}})^3} \right) \sigma^2,$$

где  $P_{\text{ном}}$  – нормированная прибавка массы свиньи при отсутствии флуктуаций дозы кормления, кг;

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение дозы  $D$ , к. е.

Нелинейные зависимости (1) и (3) показывают, что наличие отклонений доз кормления от заданного значения приводит к потерям прибавки массы свиней, причем превышение номинальной дозы вызывает по величине меньшее приращение прибавки массы, чем ее потери при недокорме животных.

К тому же, такие зависимости позволяют оценивать величину отклонения прибавок масс от номинальных значений, обусловленных априорной ошибкой определения генетического потенциала и массы свиньи, дозы и величины энергосодержания корма. Следовательно, для устранения систематической составляющей погрешности определения значимых (для прибавки массы животных) факторов, система управления ПМЛ должна обладать способностью к самонастройке.

Численная оценка выражения (3), показывает, что наличие у дозирующего устройства ПМЛ величины погрешности в диапазоне 15 %...30 % от нормированной дозы корма приводит к 0,5 %...5,5 % потерь привесов животных (рис. 3.20).

Расчеты показали, что потери только 1 % привеса свиней на откорме (для типового свиноводческого комплекса с годовой производительностью 54 000 голов свиней) приводят к недополучению около 30 тонн свинины в живой массе. Точное приготовление и раздача корма позволяет также практически исключить остатки корма после кормления и тем самым, устранить основной недостаток жидкого кормления – потери кормов из-за закисания их остатков

после неполной раздачи. Ежесуточный прогноз прироста массы позволяет также оперативно изменять параметры микроклимата. Выше проведенные вычисления демонстрируют, что решающим фактором, определяющим экономический эффект, является технологический фактор.

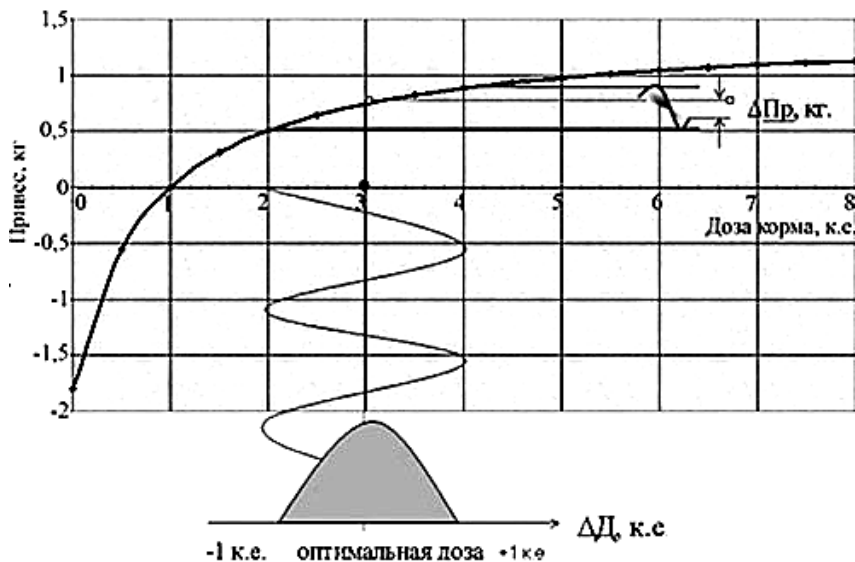


Рис. 3.19. Графическая интерпретация влияния случайной составляющей погрешности дозирования корма на привесы свиней



Рис. 3.20. Снижение суточных привесов свиней при наличии погрешности дозирования

Таким образом, дальнейшее развитие технологий построения интеллектуальных и роботизированных систем является эффективным средством повышения конкурентоспособности промышленного свиноводства.

### **3.2.6. Энергосберегающий потенциал роботизации производства на примере раздачи жидких кормов**

Эпоха механизации производства связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования, как правило, сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. Развитие возможностей математического моделирования и их реализации на базе современных средств компьютеризированного управления позволяет принципиально изменить подходу к выбору параметров технологического оборудования сельскохозяйственного производства. Исключение не только физических, но и интеллектуальных возможностей человека при реализации технологического процесса раздачи жидких кормов позволяет существенно уменьшить энергозатраты, благодаря снижению производительности оборудования за счет круглосуточной его работы в дискретно-непрерывном режиме.

В Республике Беларусь функционируют свыше 100 свиноводческих комплексов. Жидкое кормление свиней на основе полнорационных комбикормов является широко распространенной технологией кормления свиней, обеспечивающей высокоэффективное использование дорогостоящих ресурсов. Типовое оборудование и система управления реализуют двукратную раздачу корма в соответствии с зоотехническими нормами.

Раздача кормов животным является энерго- и трудоемким процессом, значительно влияющим на конкурентоспособность производимой продукции. Снижение количества потребляемой электрической энергии может быть достигнуто за счет использования современных автоматизированных методов управления технологическими процессами, позволяющими реализовать практически безлюдное, с возможностью удаленного контроля производство. Реализация возможностей современных систем управления технологическими

процессами позволяет переложить и интеллектуальные функции оператора на вычислительное устройство. Исключение необходимости присутствия оператора в процессе выполнения технологического процесса позволяет увеличить время работы оборудования и существенно уменьшить его производительность.

Жидкое кормление является полностью механизированным процессом и обеспечивает высокую эффективность откорма свиней [1, 2]. Представляет интерес энергетическая оценка эффективности реализации перехода к многоразовому, круглосуточному кормлению свиней.

Основные функции управления процессом кормления свиней:

1. Определение начало времени кормления.
2. Расчет доз кормления в соответствии с количеством и половозрастными характеристиками животных.
3. Приготовление необходимого объема корма.
4. Раздача корма по кормушкам в запланированных дозах.
5. Контроль поедаемости корма.

При предыдущем уровне возможностей средств управления функции (1), (2) и (4) выполнялись персоналом [1, 2]. Необходимость наличия персонала при определении доз кормления и контроля поедаемости корма обуславливала двухкратное кормление свиней за время рабочего дня. Соответственно, технологическое оборудование должно было обеспечить приготовление и раздачу суточной дозы корма за 2–4 часа.

Для зоотехнической науки при откорме свиней основополагающим показателем является суточная прибавка массы животных, зависящая, прежде всего, от дозы корма. Но доступных аппаратных средств определения суточной прибавки массы в реальном масштабе времени применительно к промышленным технологиям содержания свиней не существует.

Поэтому первостепенной является задача формализации процесса выращивания свиней в виде зависимости ежесуточной прибавки массы животных от параметров кормления и их массы. В основе интеллектуального алгоритма управления расчетом доз кормления лежит модель прибавки массы свиней на откорме:

$$P(m) = P_{100} \cdot \left( \frac{m}{100} \right)^{0,25} \cdot \frac{(D - D_{maint})}{(D + D_{maint})}, \quad (1)$$

где  $m$  – живая масса животного, кг;

$P$  – суточная прибавка живой массы, кг;

$P_{100}$  – потенциально возможная прибавка массы животного массой 100 кг для данной породы и данных условий содержания и кормления, кг;

$D$  – суточная доза полнорационного комбикорма, МДж;

$D_{maint}$  – поддерживающая суточная доза кормления, МДж.

Поддерживающая доза, с учетом рекомендаций обеспечивающая  $0,42 \text{ МДж/кг}^{0,75}$ , определяется следующим образом:

$$D_{maint} = 0,42 \cdot m^{3/4}. \quad (2)$$

Для выбора дозы корма необходимо обосновать критерии оптимальности. В качестве первого критерия можно использовать максимум прибавки массы на единицу корма:

$$C1 = P/D \rightarrow \max.$$

Экстремум достигается при:

$$\frac{dC1}{dD} = \frac{P - PD}{D^2} = 0. \quad (3)$$

Т. е. экстремум достигается в точке кривой зависимости прибавки массы от дозы корма (1) в которой производная равна (рис. 3.21).

$$P = \frac{P}{D}.$$

После подстановки (1) в (3) и несложных преобразований получим

$$D_{1opt} = (1 + \sqrt{2} \cdot D_{maint}) \approx 2,4 D_{maint} \quad (4)$$

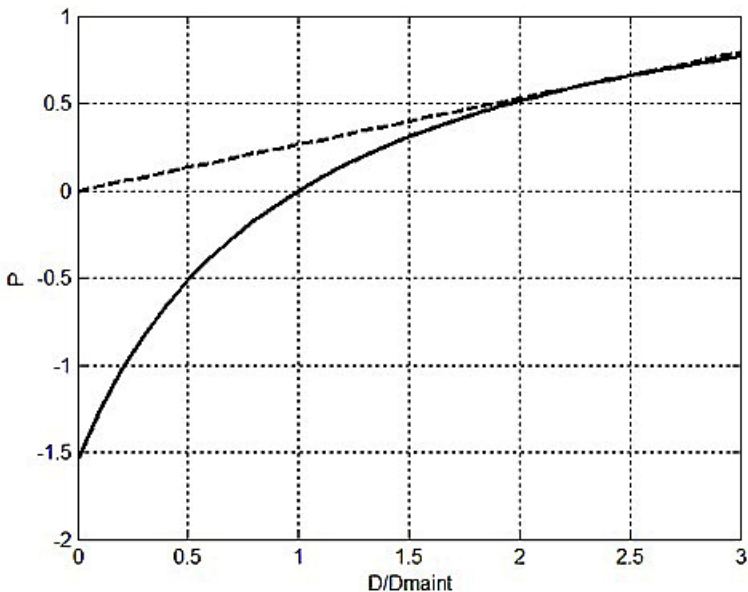


Рис. 3.21. Зависимость прироста массы свиней на откорме от относительной дозы корма

Т. е., зная первоначальную массу свињи в первый день постановки свињи на откорм, мы можем по формуле (2) определить поддерживающую дозу, а по формуле (4) рассчитать оптимальную дозу кормления. Тогда суточную прибавку массы вычисляем по формуле (1). На следующие сутки расчеты повторяются.

Тогда на  $n$ -й день откорма масса животного

$$m(n) = m(1) + \sum_{i=1}^n P(i),$$

где  $m(1)$  – масса свињи при постановке на откорм, кг.

$P(i)$  – текущие привесы в  $i$ -й день откорма, кг;

$n$  – день откорма.

На откорме свињи содержатся в групповых станках, тогда групповая доза  $j$ -го станка

$$D(j) = N(j) \cdot 2,4 \cdot D_{\text{maint}}(j),$$

где  $N(j)$  – число животных в  $j$ -м станке;

$D_{\text{maint}}(j)$  – поддерживающая доза для 1-й свиньи в  $j$ -м станке, МДж.

Масса полнорационного комбикорма, обеспечивающего плановые потребности  $j$ -го станка

$$SK(j) = D(j) / UDE_{\text{komb}},$$

где  $UDE_{\text{komb}}$  – удельное энергосодержание комбикорма, МДж/кг.

Суммарная масса комбикорма для всего поголовья

$$SK_{\text{сум}} = \sum_j SK(j).$$

При раздаче комбикорма в виде жидкой смеси с водой влажностью

$$w = \frac{(0,14 \cdot SK_{\text{сум}}) + Voda}{SK_{\text{сум}} + Voda} \cdot 100\%,$$

где  $Voda$  – масса добавленной воды, кг.

Общая масса жидкой смеси

$$SKV = \frac{1,89 - \frac{w}{100}}{1 - \frac{w}{100}} \cdot SK_{\text{сум}}.$$

Объем приготовления жидкого корма для раздачи по всем групповым станкам

$$V = SKV / \rho,$$

где  $\rho$  – плотность жидкой смеси влажностью  $w$ , кг/м<sup>3</sup>.

Проектная производительность линий раздачи жидких кормов  $Q$  должна обеспечивать кормление расчетного откармливаемого поголовья в соответствии с технологическими требованиями (рис. 3.22):

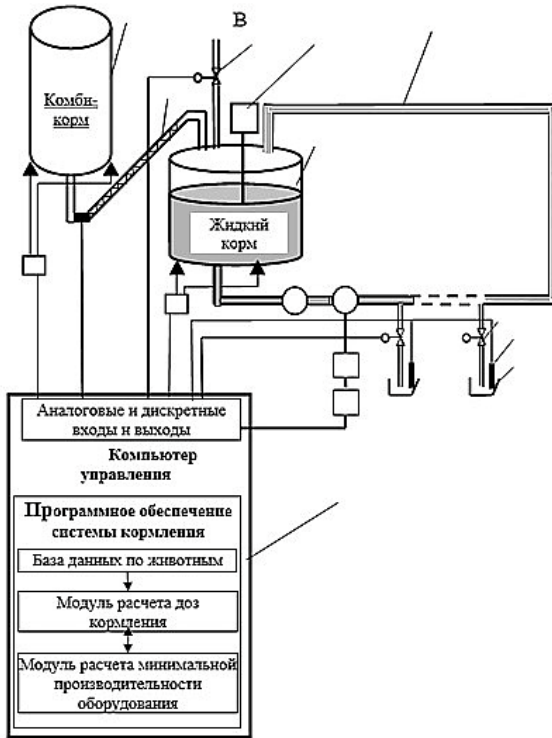


Рис. 3.22. Технологическая схема раздачи кормов:

- 1 – бункер комбикорма; 2 – клапан подачи воды; 3 – мешалка;
- 4 – магистральный кормопровод; 5 – шнек подачи комбикорма в ванну;
- 6 – смесительная ванна; 7 – тензвесы бункера комбикорма;
- 8 – тензвесы смесительной ванны; 9 – расходомер корма;
- 10 – насос кормораспределения; 11 – частотный регулятор управления насосом;
- 12 – прибор измерения параметров насоса;
- 13 – клапаны подачи жидкого корма в кормушки;
- 14 – датчик наличия жидкого корма в кормушке; 15 – кормушка;
- 16 – компьютер управления с программным обеспечением

$$Q = V / (n \cdot t),$$

где  $V$  – суточный объем раздаваемого корма заданной влажности,  $\text{м}^3$ ;



$n$  – число кормлений за сутки;  
 $t$  – продолжительность одной раздачи корма, с.

Ранее в работе была эмпирически установлена связь мощности кормораздаточного насоса с его производительностью:

$$P = l \cdot K_0 \cdot Q^\gamma,$$

где  $Q$  – производительность (текущий расход жидкого корма), м<sup>3</sup>/с;  
 $l$  – длина кормопровода, м.;

$K_0$  и  $\gamma$  – аппроксимационные коэффициенты, значения которых зависят от влажности кормосмеси  $W$  и геометрических параметров кормопровода и могут быть табуированы.

При этом требуемая производительность

Указанный подход к анализу экспериментальных данных позволил получить следующие результаты, отраженные в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты аппроксимации экспериментальных данных по формуле (2)

$W, \%$	77	78,6	80	82,5	84
$\gamma$	1,12	1,26	1,42	1,68	1,78
$K_0, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot (\text{с./л.})^\gamma$	0,02102	0,01522	0,00642	0,00369	0,00295

При этом суточные энергозатраты на раздачу корма будут определяться выражением

$$E = P \cdot t \cdot n.$$

Подстановка выражений (1) и (2) в (3) показывает зависимость энергозатрат от количества кормлений:

$$E = (l \cdot K_0 \cdot V^\gamma \cdot t^{1-\gamma}) \cdot n^{1-\gamma}.$$

При типовом оборудовании на свиноводческих комплексах, требующих присутствия оператора, принято двухразовое кормление. Принимая суточный объем корма и продолжительность одной раздачи корма постоянными, получим, что внедрение

современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, может дать трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу жидкого корма по сравнению с двухразовым кормлением (рис. 3.23).

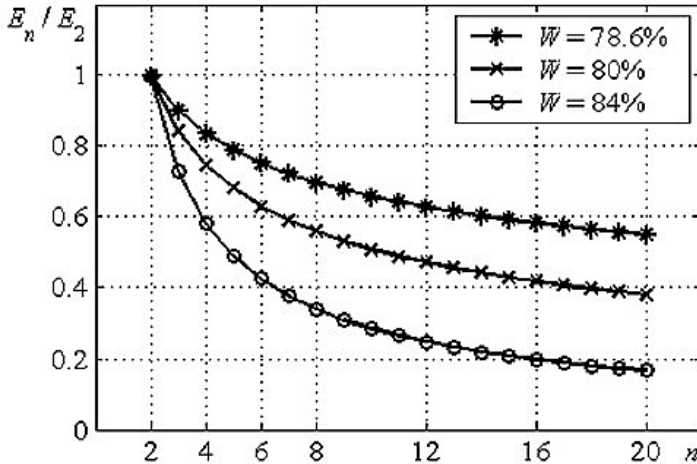


Рис. 3.23. Сокращение энергозатрат на раздачу жидкого корма при увеличении числа кормлений в сутки:

$E_2, E_n$  – энергозатраты, соответственно, при 2-разовом и  $n$ -разовом кормлении;  
 $W$  – влажность кормосмеси

Для автоматического контроля поедаемости корма в каждой групповой кормушке установлен кондуктометрический датчик наличия жидкого корма в кормушке. Текущий объем приготовления учитывает наличие жидкого корма в кормушке. При этом текущий объем замеса принимает вид

$$SK_{\text{сим}} = \sum_j U_{rov}(j) \cdot SK(j),$$

где переменная  $U_{rov}$  принимает значение 0 при наличии жидкого корма в кормушке и 1 при его отсутствии.

Многоразовая раздача также позволяет уменьшить мощность электроприводов и геометрические размеры технологического оборудования.

Для реализации многоразовой раздачи жидких кормов разработан и внедрен комплект оборудования, схема которого приведена на рис. 3.22.

Раздача корма осуществляется до 20 раз за сутки. Снижение разовой дозы выдаваемого корма позволяет существенно, в 2..5 раз, уменьшить объем и металлоемкость смесительных ванн и групповых кормушек. Текущий объем замеса определяется на основании опроса датчиков наличия корма в кормушках и базы данных. Датчики наличия корма работают по принципу электропроводимости (рис. 3.24, а). Сопротивление между электродом датчика и корпусом кормушки из нержавеющей стали измеряется дискретным входом контроллера. Если выданный в кормушку корм не поедается за 30...40 мин, то доза корма может быть скорректирована или сформирована заявка на диагностирование состояния животных в данном групповом станке. Управляющая технологическая программа написана на алгоритмическом языке Automation Basic в среде программирования Automation Studio (рис. 3.24, б).

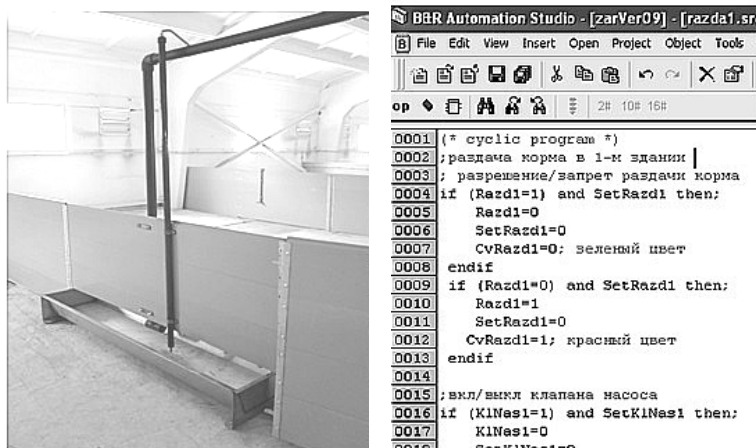


Рис. 3.24. Общий вид датчика наличия корма в кормушке (а) и фрагмент управляющей технологической программы (б)

Для обеспечения удаленного контроля с использованием сети Интернет использована технология VNC (Virtual Network Computing), которая позволяет с помощью локальной или интернет сети отображать панель оператора системы автоматизации на удаленном компьютере, при этом доступ осуществляется VNC-клиентом (рис. 3.25, а, б).

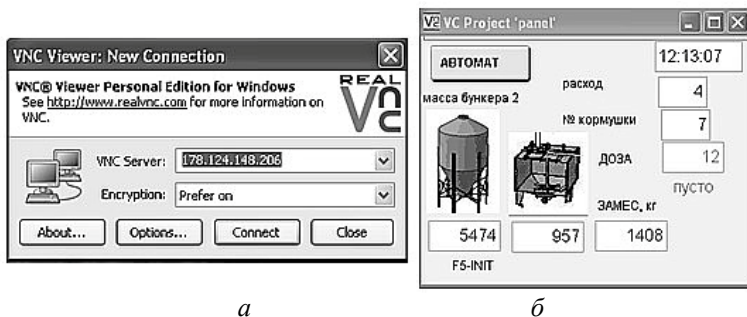


Рис. 3.25. Окно программы VNC-клиента (а) и окно визуализации процесса раздачи жидкого корма на свиноводческом комплексе (б)

Таким образом, на программно-технические средства системы управления возложены интеллектуальные функции, выполняемые ранее оператором, в том числе:

- математические расчеты по расчетам доз кормления, включая их оптимизацию;
- контроль поедаемости корма и формирование, при необходимости, заявки на диагностику состояния животных;
- формирование архива событий;
- использование знаний при диагностике оборудования и предотвращение аварий.

Данная система, реализованная на базе панельного контроллера PP-45 австрийской фирмы V&R, внедрена в цехе откорма СПК «Восходящая заря» Брестской области и других свинокомплексах Беларуси. Использование средств точного дозирования и частотно-регулируемого привода кормового насоса позволяет полностью, без остатка, раздавать жидкий корм и экономить электроэнергию. Приготовление и раздача корма осуществляется в автоматическом режиме, без необходимого присутствия оператора. Использование удаленного контроля и управления позволяет оперативно реагировать и устранять возможные отказы оборудования.

Исключение оператора из управления процессом кормления свиней позволяет увеличить время раздачи кормов и тем самым снизить производительность оборудования. Снижение производительности оборудования позволяет уменьшить энерго- и металлоемкость кормораздаточного оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основной:*

1. Гируцкий, И. И. Микропроцессорная техника систем автоматизации: учебно-методическое пособие / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2022. – 224 с.

2. Компьютерные сети : учебник для студентов СПО по специальностям «Сетевое и системное администрирование», «Информационные системы и программирование» / В. В. Баринов [и др.]. – 3-е изд., испр. – М. : Академия, 2020. – 192 с.: ил.

3. Кузин, А. В. Компьютерные сети: учебное пособие / А. В. Кузин, Д. А. Кузин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 190 с.

4. Куроуз, Дж. Компьютерные сети. Нисходящий подход [Электронный ресурс] = Computer Networking. A Top-Down Approach / Дж. Куроуз, К. Росс. – 6-е изд. – М. : Изд-во «Э», 2016. – 912 с.

5. Управляющие вычислительные комплексы для промышленной автоматизации : учебное пособие / Н. Л. Прохоров [и др.]; под ред. Н. Л. Прохорова, В. В. Сюзева. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 372 с.

6. Хорев, П. Б. Программно-аппаратная защита информации : учебное пособие / П. Б. Хорев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. – 352 с.

### *Дополнительной:*

7. Борисов, А. М. Основы построения промышленных систем автоматизации / А. М. Борисов. – Челябинск : Издательский центр ЮурГУ, 2012. – 108 с.

8. Гируцкий, И. И. Компьютеризированные системы управления в сельском хозяйстве / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2014. – 212 с.

9. Методология и результаты автоматизации сельскохозяйственного производства Республики Беларусь / Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : матер. Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 ноября 2014 года. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2014. – С. 7–11.

10. Микропроцессорная техника систем автоматизации. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / сост.: И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2017. – 136 с.

11. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 6-е изд. – СПб. : Питер, 2020. – 1008 с.

12. Олифер, В. Г. Сетевые операционные системы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2008. – 669 с.

13. Оллсон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Оллсон, Дж. Пиани. – СПб. : Невский Диалект, 2001. – 557 с.

14. Парк, Дж. Передача данных в системах контроля и управления : практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт. – М. : Группа ИДТ, 2007. – 480 с.

15. Страусс, К. Системы автоматики и коммуникации в сетях электроснабжения: практическое руководство / К. Страусс. – М. : Группа ИДТ, 2007. – 250 с.

16. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – 5-е изд. – СПб. : Питер, 2019. – 960 с.

17. Титаев, А. А. Промышленные сети: учебное пособие / А. А. Титаев; Министерство науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2020. – 124 с.

*Интернет-ресурсы:*

18. S7-1200 Programmable controller. System Manual // Siemens. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/287014399/s71200-System-Manual-en-US-en-US>. – Дата доступа: 24.09.2024.

19. Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. // Википедия – Режим доступа: <http://wikipedia.org>. – Дата доступа: 27.09.2021.

20. Время электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russianelectronics.ru>. – Дата доступа: 24.09.2024

21. Допплингер, А. Протоколы промышленных сетей [Электронный ресурс] / А. Допплингер // Встраиваемые системы. – 2008. – № 5. – С. 40–46. – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/skachivanie/50697/0/>. – Дата доступа: 24.09.2024.

22. Компьютерные сети и технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xnets.ru>. – Дата доступа: 24.09.2024.

23. Лопухов, И. Новые реалии промышленных сетей Ethernet [Электронный ресурс]. / И. Лопухов // itWeek – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=114931>. – Дата доступа: 24.09.2024.

24. Статьи по электронике [Электронный ресурс] // KAZUS – Режим доступа: <http://kazus.ru/articles/index.html>. – Дата доступа: 24.09.2024.

Учебное издание

**Гируцкий** Иван Иванович,  
**Сеньков** Андрей Григорьевич,  
**Немирович** Сергей Игоревич

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *Н. М. Матвейчук*  
Редактор *Г. В. Анисимова*  
Корректор *Г. В. Анисимова*  
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*  
Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 27.12.2024. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 14,64. Уч.-изд. л. 11,45. Тираж 99 экз. Заказ 571.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.