

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»**

А.В. Огняник

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СРЕДСТВ АПК**

**Курс лекций**

Краснодар  
КубГАУ  
2019

**УДК 631.3:519.24 (075.8)**  
**ББК 40.7**  
**М74**

**Рецензент:**

**Е. И. Винецкий** – зав. лабораторией механизации и агротехнологии Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, д-р техн. наук, профессор.

**М74 Системы автоматизированного проектирования технических средств АПК:** курс лекций / сост. А. В. Огняник, – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 96 с.

В представленном курсе лекций рассмотрены основные понятия и определения системы автоматизированного проектирования (САПР), описано ее применение в устройствах технических средств АПК. Рассмотрены содержание и принципы действия САПР по проектированию технических средств АПК. Рекомендуется для аудиторной и самостоятельной работы.

Предназначена для обучающихся направления подготовки 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, программа специалитета. Очной и заочной форм обучения.

**УДК 631.3:519.24 (075.8)**  
**ББК 40.7**

©Огняник А. В., 2019  
©ФГБОУ ВПО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет имени И.Т. Трубилина», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| ЛЕКЦИЯ 1 Введение в курс САПР .....   | 5  |
| ЛЕКЦИЯ 2 Методология автоматизации проектирования .....   | 13 |
| ЛЕКЦИЯ 3 Основные понятия САПР .....  | 18 |
| ЛЕКЦИЯ 4 CALS-технологии .....  | 24 |
| ЛЕКЦИЯ 5 Технологии и средства проектирования .....   | 29 |
| ЛЕКЦИЯ 6 Структура технического обеспечения САПР .....  | 34 |
| ЛЕКЦИЯ 7 Аппаратура рабочих мест в автоматизированных системах<br>проектирования и управления ..... | 41 |
| ЛЕКЦИЯ 8 Локальные вычислительные сети Ethernet .....   | 48 |
| ЛЕКЦИЯ 9 Сети кольцевой топологии .....   | 53 |
| ЛЕКЦИЯ 10 Каналы передачи данных в корпоративных сетях .....  | 57 |
| ЛЕКЦИЯ 11 Стеки протоколов и типы сетей в автоматизированных системах<br>.....                      | 67 |
| ЛЕКЦИЯ 12 Основные элементы интерфейса Компас-3D .....  | 83 |
| СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....  | 95 |

## Введение

Среди информационных технологий автоматизация проектирования занимает особое место. Автоматизация проектирования - синтетическая дисциплина, ее составными частями являются многие другие современные информационные технологии. Так, техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования (САПР) основано на использовании вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий, в САПР используются персональные компьютеры и рабочие станции, есть примеры применения мейнфреймов. Математическое обеспечение САПР отличается богатством и разнообразием используемых методов вычислительной математики, статистики, математического программирования, дискретной математики, искусственного интеллекта. Программные комплексы САПР относятся к числу наиболее сложных современных программных систем, основанных на операционных системах, языках программирования и других современных CASE-технологиях, реляционных и объектно-ориентированных системах управления базами данных (СУБД), стандартах открытых систем и обмена данными в компьютерных средах.

Задачей специального курса лекций является упорядочение знаний студентов, изучающих учебную дисциплину «Системы автоматизированного проектирования».

Цель дисциплины – приобретение и освоение студентами теоретических основ систем автоматизированного проектирования и расчета, ознакомление с принципами построения современных САПР: привить навыки решения инженерных задач при проектировании сложных технических систем с помощью САПР.

Данный специальный курс формирует у обучающихся информационно-коммуникационную компетентность – позволяет обобщить знания, умения и навыки по информатике, информационным технологиям, инженерной графике, необходимые для изучения специальных дисциплин профессионального цикла и в практической деятельности.

На сегодняшний день на предприятиях, ведущих разработки сложных технических объектов, всё больше утверждается оригинальный подход к автоматизации конструкторской деятельности, в основе которого – первоначальное создание трехмерных пространственных моделей изделий, а затем получение с готовой модели чертежно-графической документации в количестве необходимом для производства.

Изучение данного специального курса лекций обеспечивает подготовку технически грамотного современного специалиста и формирование у обучающихся умений самостоятельно и избирательно применять различные средства САПР для автоматизации инженерных работ на производстве и для профессионального роста.

# ЛЕКЦИЯ 1

## Введение в курс САПР

- Назначение САПР.
- Типы инженерных задач.
- Моделирование.
- Уровни достоверности математических моделей.
- Признаки системного объекта.
- Средства обеспечения САПР.

## *Назначение САПР*

Системы автоматизированного проектирования (САПР) благодаря быстродействию и надежности вычислительной техники, достоверности математических моделей (ММ) и эффективным методам оптимизации позволяют не только ускорить разработку проектов, освободить инженеров и техников от выполнения рутинных процедур, но и сократить в целом продолжительность создания новых машин и аппаратов, повысить показатели их качества.

*Проектирование* – процесс создания описания, необходимого для построения в заданных условиях еще не существующего объекта на основе его первичного описания. Проектирование разделяют на неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое. Мы будем рассматривать автоматизированное, особенность которого состоит в том, что в ходе проектирования происходит постоянный диалог человека с ЭВМ в процессе создания описания объекта.

*Сокращения:*

САПР/АСТПП/САИТ – система автоматизированного проектирования /автоматизированная система технологической подготовки производства/ система автоматизации инженерного труда. На английском языке – CAD/CAM/CAE: Computer Automation Design/Computer Automation Manufacturing/Computer Automation Engineering.

## *Типы инженерных задач*

Выделяют две *основные задачи* в САПР:

1 *Задача анализа*. Связана с определением функции объекта или системы по заданному описанию и оценкой возможных проектных решений (прямая задача отвечает на вопрос: «Что будет, если...?»).

*Прямая задача* – это задача анализа. Она однозначна. Достоверность решения зависит от уровня достоверности математической модели этой задачи.

2 *Задача синтеза*. Связана с созданием самого объекта и проектной документацией (обратная задача отвечает на вопрос: «Как поступить, чтобы...?»)

*Обратная задача* – задача синтеза. Это многозначная задача (задача оптимизации).

*Синтез бывает:*

1 *Структурный* – получение структурной схемы объекта, формирование сведений о составе элементов и способах их соединения между собой.

2 *Параметрический* – определение числовых значений параметров элементов или систем. Синтез называют оптимизацией, если определяются наилучшие в заданном смысле структуры (структурная оптимизация) или параметры (параметрическая оптимизация). Проведение оптимизации требует задания спектра критериев оптимизации и соответствующих ограничений. Если критерий один, то оптимизация скалярная, если несколько – векторная.

*Критерием* (от греч. Kriterion – средство для суждения) называется признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо.

Выделяют несколько видов критериев:

*Частный критерий* – критерий оптимальности, в котором за целевую функцию принимается один из выходных параметров, наиболее полно отражающих конкретное качество исследуемого объекта. При этом влияние прочих выходных параметров условно не учитывают либо относят их к числу ограничений задачи оптимизации. Как правило, частные критерии (число которых может быть весьма велико) характеризуют качества элементов системы низких уровней иерархии. По мере продвижения по уровням снизу вверх происходит не только укрупнение элементов системы, но и связанное с этим объединение частных критериев нижележащего уровня в комплексы критериев вышестоящих уровней путем свертки и нормализации.

*Аддитивный критерий* – критерий оптимальности, относящийся к группе прямых априорных методов многокритериальной оптимизации, сформулированный в виде суммирования выходных параметров (критериев оценки) исследуемого объекта. Аддитивный критерий получается в результате приема свертки нескольких критериев в обобщенный критерий. Преимущество данного метода: как правило, всегда удается определить единственный оптимальный вариант решения. Недостатки: трудности (субъективизм) в определении весовых коэффициентов. Аддитивный критерий не вытекает из объектной роли частных критериев и поэтому выступает как формальный математический прием. В аддитивном критерии происходит взаимная компенсация частных критериев, т. е. уменьшение одного из них может быть компенсировано увеличением другого.

*Мультипликативный критерий* предполагает целевую функцию в виде произведения отдельных составляющих. Преимуществом мультипликативного критерия является то, что он не требует нормирования частных критериев и практически всегда определяет одно оптимальное

решение. Недостатками являются трудности (субъективизм) в определении весовых коэффициентов, перемножение разных размерностей, взаимная компенсация значений частных критериев.

*Минимаксный критерий* работает по принципу компромисса, который основывается на идее равномерности. Сущность принципа заключается в следующем. При проектировании сложных систем, когда имеется большое число частных критериев, установить между ними аналитическую взаимосвязь очень сложно. Поэтому стараются найти такие значения переменных (параметров), при которых нормированные значения всех частных критериев равны между собой. Формально принцип минимакса формулируется следующим образом: выбрать такой набор переменных, при котором реализуется максимум из минимальных нормированных значений частных критериев. Такой принцип выбора иногда носит название гарантированного результата. Он заимствован из теории игр, где является основным принципом.

При наличии нескольких критериев выбирают:

а) *аддитивный критерий*, если существенное значение имеют абсолютные значения критериев при выбранном векторе параметров;

б) *мультипликативный критерий*, если существенную роль играет изменение абсолютных значений частных критериев при вариации вектора параметров;

в) *максиминный (минимаксный) критерий*, если стоит задача достижения равенства нормированных значений противоречивых (конфликтных) частных критериев.

Для проведения задач анализа применяют математические модели и языки моделирования (имитационное моделирование), позволяющие проводить анализ объекта в динамике (VHDL и VERILOG).

### *Моделирование*

*Моделирование* – это работа по прогнозированию характеристик жизненного цикла продукта до его производства. Жизненный цикл технического объекта включает в себя научные исследования, проектирование, изготовление, эксплуатацию, демонтаж, утилизацию. Характеристики продукта – это затраты на его разработку, эксплуатацию, расходные материалы (топливо), продолжительность жизни продукта, ударопрочность, прочность, безопасность, шум, надежность, комфортность, простота изготовления и обслуживания, затраты на гарантийный ремонт, время вывода на рынок, прибыльность и многое другое.

Моделирование выполняется при помощи программного обеспечения, способного прогнозировать все эти характеристики жизненного цикла продукта. Оно используется для прогнозирования будущего, а особенности продукта систематически варьируются с целью улучшения характеристик

продукта на раннем этапе разработки, при этом решения о технологическом и материальном оснащении принимаются заранее.

Моделирование помогает проектировщикам понять, какие компромиссы и решения в области проекта они должны сделать для оптимизации своей продукции. Оно сокращает и заменяет дорогостоящий длительный процесс создания физических прототипов и их тестирования. Моделирование может воздействовать на каждый из пунктов, обозначенных выше, приводя к увеличению продаж и сокращению затрат на разработку продукта.

#### *О значении моделирования на этапе концептуального проектирования*

На этапе разработки концепции основное решение на высшем уровне принимается исходя из рыночных потребностей в данном изделии, требований функциональности продукта и нужд бизнеса. Моделирование на этом этапе позволяет разработчикам концепции проверить ее, чтобы убедиться, что продукт можно изготовить в соответствии с заданными требованиями и потребительскими свойствами. Моделирование облегчает первоначальную оценку различных концепций проекта, предоставляя возможность удовлетворения всех требований, предъявляемых к функциональности, в установленных рамках времени и затрат средств на выполнение работ по данному проекту.

#### *О значении моделирования на этапе детального проектирования*

На этом этапе проект в целом уже определен, включая его отдельные узлы и компоненты с заданными потребительскими свойствами. Определены геометрия, материалы и стадии производственного процесса. Моделирование на этом этапе позволяет удостовериться, что данный проект реален, его можно будет выполнить и поставить на рельсы серийного производства. Весь проект может быть смоделирован от системы в целом до каждого отдельного компонента. На этом этапе моделирование выполняется инженерами-разработчиками и инженерами-технологами, планирующими производство.

#### *О значении моделирования на этапе испытаний*

Это один из важных этапов в жизни проекта, так как он определяет дальнейшую судьбу изделия. Этап испытаний начинается тогда, когда доступен образец. Большинство компаний создают несколько натуральных прототипов и подвергают их тщательному тестированию. Если экспериментальные образцы не проходят испытаний, проект изменяется и образец проходит новые испытания до тех пор, пока не будет получен положительный результат. Такой цикл создания, испытания и устранения дефектов требует значительных временных, производственных и финансовых затрат. Моделирование может использоваться на этой стадии для уменьшения числа прототипов и физических циклов восстановления и повторного испытания путем моделирование тестируемого образца на компьютере. Если тестируемый образец не проходит модельных испытаний, повторное изменение проекта очень дешево. Используя компьютерное моделирование на данном этапе удастся сократить затраты на разработку прототипов более чем



на 50 %, а это значительная экономия времени и средств. Кроме этого, моделирование может быть использовано для сокращения времени и объема испытаний натурального образца. Например, при помощи моделирования можно «пробежаться» по образцу, обобщив «данные», которые бы измерялись при физическом испытании. Это позволяет инженерам, производящим испытание, заранее и более качественно определять критерии измерений и нагрузки динамического нагружения, экономя время и исключая «работу вслепую», как это часто бывает при лабораторных исследованиях.

#### *О значении моделирования на этапе производства*

Всем понятно, что на этом этапе продукция изготавливается. В данном случае моделирование используется для оптимизации процессов производства с целью минимизации отходов и этапов обработки. Моделирование улучшает процедуру изготовления продукта и снижает затраты на гарантийный ремонт, выявляя и исключая те параметры проекта, которые могут вызвать дефекты во время процесса производства. Более того, некоторые из новых производственных процессов, такие, как гидроформование и суперпластическое формование, требуют моделирования для идентификации параметров производственного процесса: температуры, давления и скорости.

#### *О значении моделирования на этапе маркетинга*

Моделирование может использоваться не только для разработки и производства продукции. Оно также может применяться для маркетинга и продаж продукции. Моделирование можно использовать в коммерческих предложениях, чтобы показать, как продукт будет выглядеть в конкретных условиях и чем он может быть интересен покупателю. Результаты моделирования могут использоваться в рекламе для придания продукту образа «высокотехнологичного». Продажи увеличатся благодаря тому, что моделирование улучшает дизайн, а также саму продукцию, т. е. ее потребительские свойства.

#### *О значении моделирования на этапе поддержки и сопровождения*

В дальнейшем, после реализации, продукция будет нуждаться в поддержке, техническом обслуживании, капитальном и текущем ремонте. Моделирование может использоваться на этом этапе для проведения ремонта и для модификаций изделия, обеспечивая корректировку проблемы, при этом одновременно сохраняя функциональность первоначального дизайна и набор полезных свойств. Задачи этого этапа очень четко просматриваются в разных отраслях экономики, где моделирование применяется для продления ресурса жизненного цикла изделий.

#### *О значении моделирования на этапе утилизации*

Это последний и тоже достаточно важный этап жизненного цикла изделий и технологий, особенно актуальный в настоящее время. Ничто не вечно в этом мире. Когда срок полезного использования изделия закончен, оно утилизируется или перерабатывается. Моделирование здесь применяется для выбора таких производственных процессов и упаковочных материалов, при которых возможна экономичная переработка изделия, включая различные

типы материалов, которые были использованы для его изготовления. Во многих отраслях промышленности число «контактирующих частей» в процессе производства на порядок превышает число фактических частей, из которых состоит продукт. Применение моделирования позволяет спланировать их повторное использование или эффективную утилизацию еще на этапе эскизного проектирования самого изделия, задолго до начала его эксплуатации.

### ***Уровни достоверности математических моделей (ММ)***

Наличие развитых моделей позволяет ставить задачу перехода от проектирования по нормам к проектированию по моделям.

Уровень математической модели характеризует ее качество – степень глубины и полноты отображения связей между параметрами входа и выхода. По И. А. Биргеру, различают модели нулевого, 1-го, 2-го и последующих уровней. Разделение на уровни условно.

*Модели нулевого уровня* – это модели, основанные на статистической обработке параметров предшествующих или аналогичных изделий.

*Модели первого уровня* – модели, использующие простейшие одномерные теории или ряды упрощающих предположений.

*Модели второго уровня* – модели, включающие в себя все инженерные расчеты, проводимые для рассматриваемого элемента узла и т. п.

*Модели третьего уровня* – сложные модели, использующие двухмерные и трехмерные теории, специальные численные методы типа конечных элементов или граничащих элементов и т. п.

В системе автоматизированного проектирования целесообразно использовать ММ нескольких уровней: более простые – для предварительного отбора вариантов, более сложные – для формирования окончательного решения.

### ***Признаки системного объекта***

В различной литературе имеется около двух тысяч определений «системы». Чтобы их не перечислять, воспользуемся признаками системного объекта (рисунок 1):

- много уровней и много элементов на каждом уровне;
- многообразие связей с элементами и внешней средой;
- многократное изменение состояния;
- множество показателей качества и критериев.

Эффекты от применения автоматизированного проектирования:

- уменьшение времени на разработку проекта;
- повышение качества проектных решений (уменьшение вероятности ошибки);

- получение наилучшего решения по различным критериям оптимизации (более экономичного);
- улучшение условий труда проектировщика (интереснее работать).

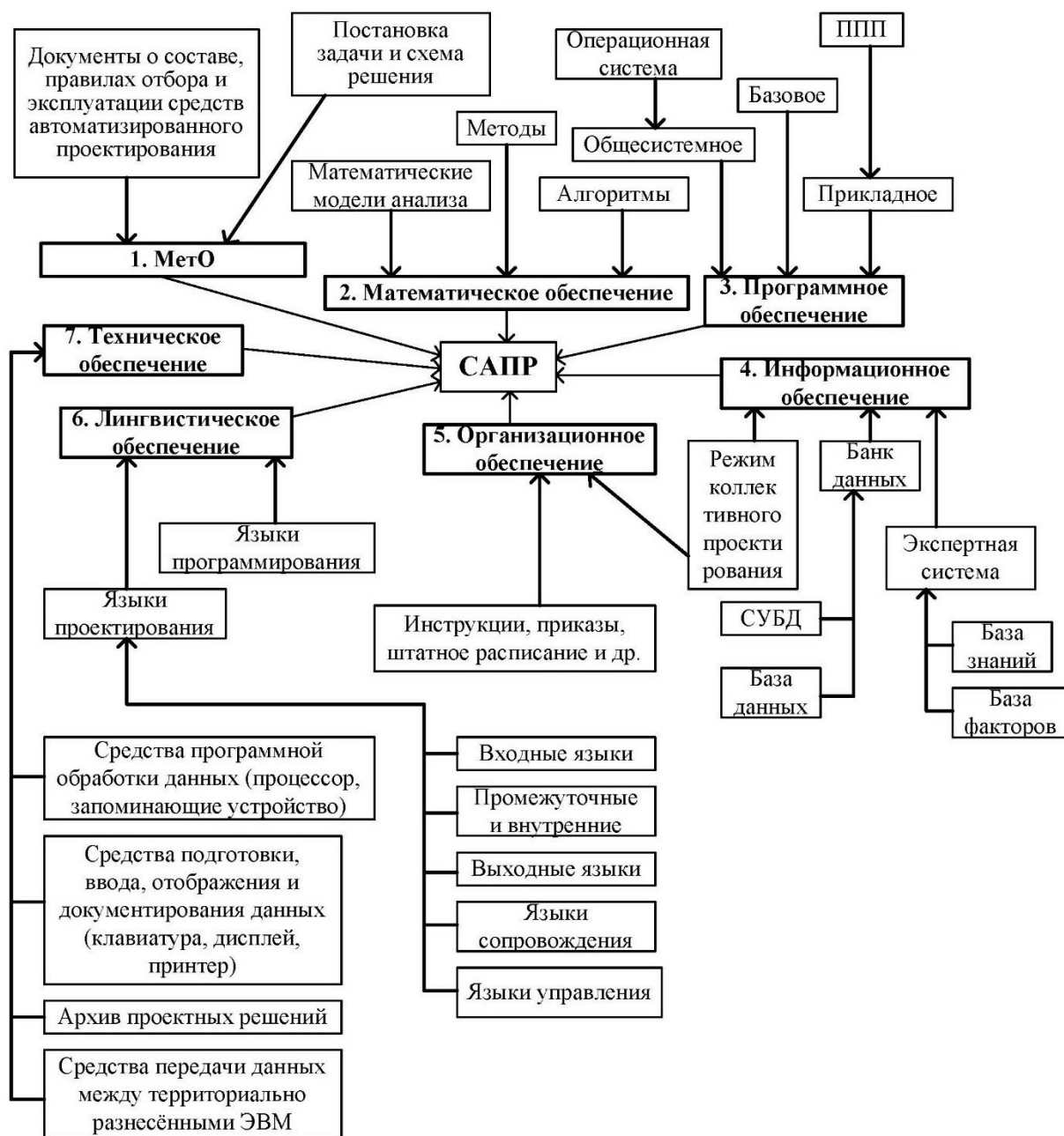


Рисунок 1 – Структура САПР

### *Средства обеспечения САПР*

Система автоматизированного проектирования (САПР) состоит из семи взаимосвязанных средств обеспечения (см. рисунок 1).

1 *Методическое обеспечение (MetO)*. Включает в себя совокупность документов, устанавливающих состав, правила отбора и эксплуатации средств обеспечения системы, а также постановку задачи и схемы ее решения.

2 *Математическое обеспечение (МатО)* – совокупность математических методов, моделей и алгоритмов проектирования, представленных в заданной форме. Включает в себя:

- 1) математические модели анализа;
- 2) методы (порядок решения поставленной задачи);
- 3) алгоритмы (подробное описание процесса решения).

3 *Программное обеспечение (ПО)* – совокупность машинных программ, необходимых для осуществления процесса проектирования. Включает в себя:

- 1) общесистемное ПО (операционная система);
- 2) базовое ПО (унифицированные программы);
- 3) прикладное ПО (пакеты прикладных программ (ППП) ).

4 *Информационное обеспечение (ИО)* – совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования:

- 1) банк данных:
  - база данных;
  - СУБД (система управления базами данных);
- 2) экспертная система:
  - база знаний;
  - база фактов;
- 3) режим коллективного проектирования.

5 *Организационное обеспечение (ОО)* – совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, а также форму представления результатов проектирования и порядок рассмотрения проектных документов:

- 1) инструкции, приказы, штатное расписание;
- 2) режим коллективного проектирования (средства ведения проекта).

6 *Лингвистическое обеспечение (ЛО)* включает в себя:

1) совокупность языков проектирования (встроенные команды AutoCad, ANSYS), включая термины, определения, правила формализации естественного языка, методы сжатия и развертывания текстов;

2) языки программирования (Си++, VBA, Delphi).

7 *Техническое обеспечение (ТО)* – совокупность связанных и взаимодействующих технических средств (средств вычислительной техники):

- 1) средства программной обработки (процессор, память);
- 2) средства ввода-вывода, отображения данных (носители, устройства ввода, принтер, сканер, монитор);
- 3) архив проектных решений (магнитооптические и лазерные устройства);
- 4) средства передачи данных между территориально разнесенными ЭВМ (локальные и корпоративные сети).

## ЛЕКЦИЯ 2.

### Методология автоматизации проектирования

- Декомпозиция технических систем.
- Полезный эффект.
- Среда технической системы.
- Понятия анализа машин.
- Виды взаимодействия среды с технической системой.
- Конструкция технического объекта, конструктивная схема.
- Варианты постановок оптимизационных задач.
- Схема решения задач применительно к функциональным элементам и процессу.
- Этапы проектирования детали, типового узла.

*Методология любой деятельности* – это учение о структуре, логической организации, методах и средствах этой деятельности.

#### *Декомпозиция технических систем*

Поскольку САПР предполагает использование многих методов, то возникает необходимость в употреблении более строгих понятий.

На техническую систему можно смотреть с трех сторон:

1) как на *изделие*; 2) как на *устройство*; 3) как на *процесс*.

1 *Изделие*: сборочные единицы (СЕ) и детали (условно-монолитные детали – МД). Это результат изготовления и сборки (попредметная декомпозиция).

Пример изделий (элементов): стойка, провод, рама, вентиль.

2 *Устройство*. Готово совершить полезный эффект. Устройство делится на функциональные элементы (функциональная декомпозиция).

Пример устройств (систем): опора, редуктор, распределительное устройство, преобразовательный агрегат.

3 *Процессы*, смена состояний. Функционирующая техническая система.

Процессы взаимодействия технической системы со средой.

Пример процессов: передача энергии, преобразование энергии, токоъем, износ.

Пример структуры технической системы как изделия рассмотрен на рисунке 2.

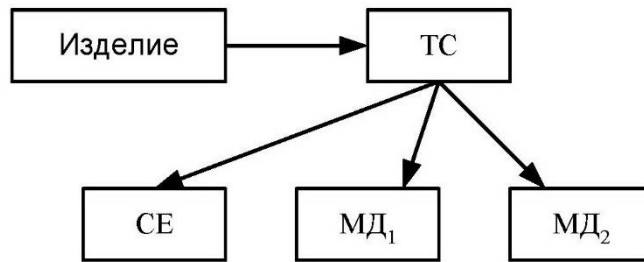


Рисунок 2 – Пример структуры технической системы как изделия

### ***Полезный эффект***

Любая техническая система создается не ради нее самой, а для получения *полезного эффекта* (ПЭ).

Полезный эффект состоит в изменении (сохранении) целевых параметров среды-потребителя.

$$\Delta\P = \Pi_i - \Pi_0 ,$$

где  $\Pi_i$  – состояние среды-потребителя после действия  $i$ -й системы;

$\Pi_0$  – исходное состояние среды-потребителя.

### ***Среда технической системы***

*Среда* – материальное образование, которое является внешним по отношению к объекту, но с которым объект взаимодействует. Например, средой может выступать система топливоснабжения по отношению к объекту – сельскохозяйственному транспорту.

### ***Понятия анализа машин***

С точки зрения философии существует три группы анализа машин: общего, особенного, единичного.

Структура объекта отражает состав элементов и характер отношений между ними.

*Функциональный элемент (ФЭ)* – самостоятельно не существует, не приносит полезного эффекта, не изготавливается, а является частью детали или совокупностью деталей.

Каждая деталь участвует в материализации множества ФЭ такого, что их объединение выходит за границы этой детали.

Таблица 1 – Понятия анализа машин

| Группы           |  |                 |  |   |
|------------------|--|-----------------|--|---|
| Общего           | Особенного   |                 | Единичного   |   |
| Строение         | Аспект рассмотрения  | Изделие         | Сборочная единица (СЕ), деталь (МД)  |   |
|                  |  | Устройство      | Функциональная единица (ФЕ), функциональная деталь (ФД), функциональный элемент (ФЭ)                       |   |
|                  | Уровень рассмотрения   | Качественный    | Структура, геометрический и физический признаки; конструктивная схема                                      |   |
|                  |  | Количественный  | Параметры геометрический, физический   |   |
| Функционирование | Генерация полезного эффекта                                    |                 | Принцип действия, компоненты среды, выходной и целевой параметр, энергетические потери                     |   |
|                  | Управление процессом функционирования                          |                 | Закон регулирования, режимный и управляющий параметр   |   |
| Состояние        | Характер явления   | Устойчивость    | Режим  | Номинальный, максимальный, частичной нагрузки, хранения |
|                  |  | Изменяемость    |  | Включение, отключение и т. д.                           |
|                  |  | Экстремальность |  | Оптимальный, максимально допустимый, аварийный          |
|                  | Количественные показатели                                      |                 | Напряжение, деформация, форма и частота колебаний  |   |
|                  | Исчерпание ресурса   |                 | Период эксплуатации: приработка, нормальный режим, старение  |   |
|                  | Жизненный цикл   |                 | Стадии: проектирование, доводка, государственные испытания, серийное производство, эксплуатация, моральное |   |
| Характеристики   | Опознаваемость<br>Технический уровень<br>Сменяемость состояний |                 | Принадлежность к типу, отличие в строении  |   |
|                  |  |                 | Показатель полезности, интенсивность процесса  |   |
|                  |  |                 | Зависимости выходных параметров от режимных (уровень напряжения, климатические факторы и т. п.)            |   |
| Качество         | Надежность   |                 | Показатели безопасности, ресурс долговечности  |   |
|                  | Технико-экономическое совершенство                             |                 | Удельные параметры, КПД  |   |

### ***Виды взаимодействия среды с технической системой***

- По отношению к технической системе среда бывает:
- среда-потребитель (железнодорожный транспорт);
  - среда, обеспечивающая процесс (система электроснабжения);
  - среда, содействующая решению поставленной задачи (структура технического обслуживания);

– среда, препятствующая решению задачи (экстремальные климатические факторы, вандализм).

### **Конструкция технического объекта, конструктивная схема**

Существует два взгляда на понятие «конструкция»:

- 1) конструкция – это не объект, а прообраз объекта (результат проектирования),
- 2) конструкция отражает только строение, никаких других качеств она не отражает.

Конструкция технического объекта – это множество его допустимых строений.

Задача САПР – спроектировать конструкцию, причем оптимальную!

### **Схема решения задач применительно к функциональным элементам и процессу**

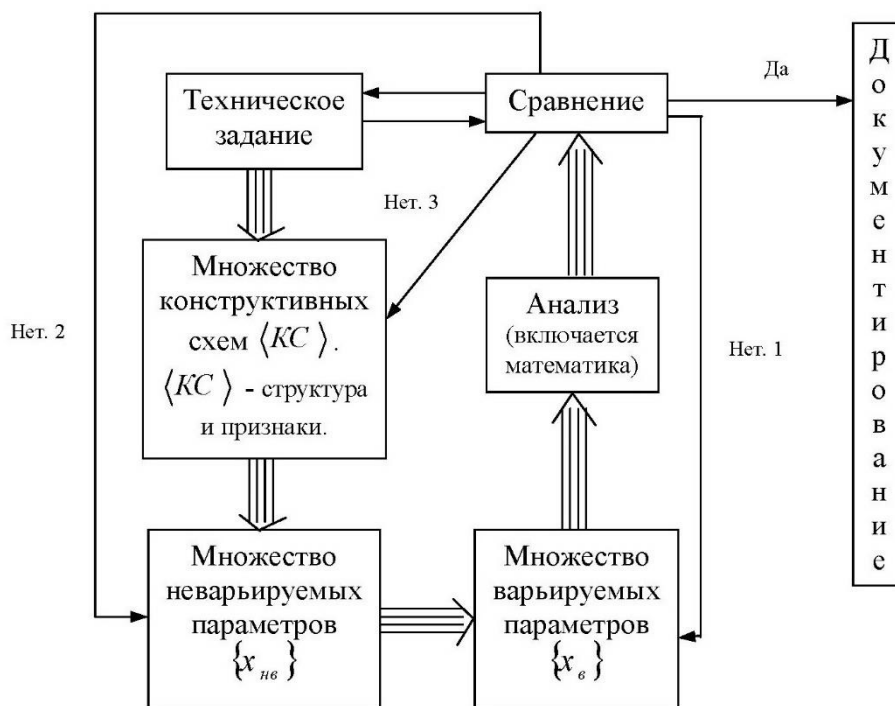


Рисунок 3 – Схема решения применительно к ФЭ и процессам

Переходы:

- нет. 1 – параметрическая оптимизация;
- нет. 2 – параметрическая оптимизация с изменением значений не варьируемых параметров  $x_{нв}$  ;
- нет. 3 – структурно-параметрическая оптимизация.



## *Варианты постановок оптимизационных задач*

1 Найти: конструкцию технического объекта, максимизируя полезный эффект (ресурс не менее заданного; энергия не более заданной; масса не более заданной; габариты не более заданных; цена не более заданной).

2 Найти: конструкцию технического объекта, максимизируя ресурс (полезный эффект не менее заданного, энергия не более заданной; масса не более заданной; габариты не более заданных; цена не более заданной)

3 Найти: конструкцию технического объекта, минимизируя потребление энергии (полезный эффект не менее заданного; ресурс не менее заданного; масса не более заданной; габариты не более заданных; цена не более заданной).

## *Этапы проектирования детали, типового узла*

Этапы проектирования детали:

1) определение конструктивной схемы, значений некоторых параметров, полученных на основании эскизного проектирования;

2) определение состава ФЭ, которые материализуются с помощью этой детали, последовательность проектирования этих ФЭ;

3) поиск допустимых (оптимальных) ФЭ (здесь работает предыдущая схема);

4) определение номинальных значений в холодном свободном состоянии;

5) формирование технических требований к изготовлению деталей;

6) документирование конструкции детали;

7) представление детали в виде пространственной модели (ПМ).

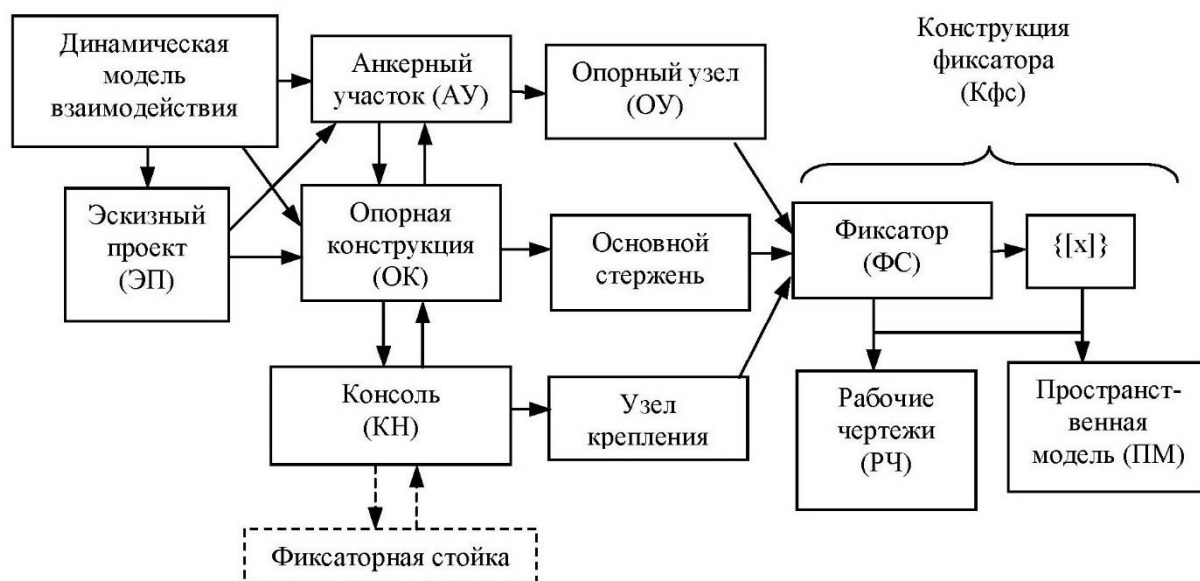


Рисунок 4 – Пример проектирования фиксатора контактного провода

## ЛЕКЦИЯ 3.

### Основные понятия САПР

- Классификация САПР.
- Организация САПР.
- Принципы создания САПР.
- Стадии создания САПР.
- Системный подход к проектированию.
- Базовые технологии проектирования в САПР/АСТПП/САИТ.

### *Классификация САПР*

САПР классифицируют:

- по разновидности и сложности объектов проектирования:
  - а) САПР низкосложных объектов (количество составных частей до 100);
  - б) САПР среднесложных объектов (100–10 000);
  - в) САПР высокосложных объектов (выше 10 000);
- по уровню автоматизации:
  - а) низкоавтоматизированные (до 25% проектных процедур автоматизировано);
  - б) среднеавтоматизированные (25–50 %);
  - в) высокоавтоматизированные (50–75 %).
- по уровню комплексности:
  - а) одноэтапные (один этап проектирования);
  - б) многоэтапные (несколько этапов);
  - в) комплексные (весь процесс создания изделия);
- по характеру и числу выпускаемых проектом документов:
  - а) САПР низкой производительности (100–10 000 проектных документов в пересчете на формат А4 за год);
  - б) САПР средней производительности (10 000–100 000);
  - в) САПР высокой производительности (100 000 и выше).

Информация должна храниться как в твердом виде (на бумаге), так и на магнитном носителе (магнитная лента); срок хранения – 50 лет;
- по числу уровней технического обеспечения:
  - а) одноуровневый (на основе ЭВМ среднего и высокого класса со штатным периферийным оборудованием);
  - б) двухуровневый (на основе ЭВМ среднего и высокого класса, в качестве интеллектуальных терминалов – персональные ЭВМ);
  - в) комплексный (на основе ЭВМ среднего и высокого класса, объединенных в сеть, каждая из ЭВМ имеет сеть интеллектуальных терминалов на основе персональных ЭВМ).

## *Организация САПР*

*Составными структурными частями САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами системы и создаваемые как самостоятельные системы.*

Подсистемой САПР называют выделенную по некоторым признакам часть САПР, позволяющую получать законченные проектные решения.

САПР разделяют на подсистемы:

- *проектирующие;*
- *обслуживающие.*

*К проектирующим подсистемам относят:*

1 Подсистему функционально-логического проектирования.

На выходе этой системы мы получаем функциональную схему, за ней логическую, и далее принципиальную электрическую схему.

2 Подсистему конструкторского проектирования.

На выходе получаем конструкцию устройства и конструкторскую документацию, включающую схему расположения элементов на поверхности модуля и топологию печатных соединений между элементами.

3 Подсистему технологической подготовки производства

На выходе получаем маршрутную карту производственного процесса и программы для управления станков с числовым программным управлением (для управления технологическим оборудованием).

*К обслуживающим подсистемам относят:*

1 Систему информационного поиска.

2 Систему документирования.

3 Систему графического отображения объектов проектирования.

В состав как проектирующих, так и обслуживающих систем современных САПР могут входить:

- Экспертные системы

Это системы, в основе которых лежит база знаний, представленная либо в виде системы продукции, либо в виде фреймов (FRAME). Экспертная система позволяет формализовать знания эксперта в определенной предметной области с целью принятия рациональных проектных решений.

- Системы принятия решений

Это системы, позволяющие производить выбор эффективных проектных решений в условиях определенности и неопределенности исходной информации на основе формальных методов и процедур. Для оценки проектных решений могут также применяться нейросетевые технологии.

- Системы поддержки принятия решений.

## ***Принципы создания САПР***

### ***1 Принцип включения***

Обеспечивает разработку систем на основе требований, позволяющих включать эти системы в САПР более высокого уровня.

### ***2 Принцип системного единства***

При создании, функционировании и развитии САПР связь между подсистемами должна обеспечивать целостность всей системы.

### ***3 Принцип развития***

САПР должна создаваться и функционировать с учетом появления, совершенствования и обновления ее подсистем и компонентов.

### ***4 Принцип комплексности***

Обеспечивает связность процесса проектирования элементов и объектов в целом на всех уровнях проектирования, позволяя осуществлять согласование и контроль характеристик элементов и объектов в целом.

### ***5 Принцип информационного единства***

Состоит в использовании в подсистемах, компонентах и средствах обеспечения САПР единых условных обозначений, терминов, символов, проблемно-ориентированных языков и способов представления данных в соответствии с принятыми нормативными документами.

### ***6 Принцип совместимости***

Языки, символы, коды, информационные и технические характеристики, связи между подсистемами, средствами обеспечения САПР и компонентами должны обеспечивать эффективное функционирование подсистем и сохранять открытую структуру системы в целом.

Открытой называют систему, в которой интерфейсы взаимодействия с внешней средой стандартизированы.

### ***7 Принцип стандартизации***

Состоит в проведении унификации, типизации, стандартизации подсистем и компонентов, инвариантных к проектным объектам и отраслевой специфике, а также установление правил с целью упорядочивания деятельности по созданию и развитию САПР.

## ***Стадии создания САПР***

При создании САПР различают внешнее и внутреннее проектирование.

К внешнему проектированию относят:

- стадию предпроектных исследований;
- разработку технического задания на проект;

Внутреннее проектирование включает:

- разработку технических предложений;
- рабочий проект;
- эскизный проект;
- технический проект;

- изготовление, отладку, испытание и ввод системы в действие.

Внешнее и внутреннее проектирование, по существу, может быть применено при создании большинства технических объектов и систем.

### ***Системный подход к проектированию***

Исследование объектов проектирования с помощью их математических моделей составляет суть системного подхода. Выделяют следующие принципы системного подхода:

#### ***1 Иерархичность***

Каждая система или элемент может рассматриваться как отдельная система.

#### ***2 Структурность***

Состоит в возможности описания системы через описание коммутационных связей между ее элементами.

#### ***3 Взаимозависимость***

Заключается в проявлении свойств системы только при взаимодействии с внешней средой.

#### ***4 Множественность описания***

Заключается в описании системы на основе множества взаимодействующих математических моделей.

#### ***5 Целостность***

Свойства всей системы определяются на основе анализа свойств ее частей.

Суть системного подхода – проектирование части с учетом целого.

### ***Базовые технологии проектирования в САПР/АСТПП/САИТ***

Наиболее перспективными на сегодняшний день являются технологии проектирования:

- сквозного проектирования;
- параллельного проектирования;
- нисходящего проектирования;
- CALS-технологии.

#### ***Сквозное проектирование***

Смысл сквозной технологии состоит в эффективной передаче данных и результатов конкретного текущего этапа проектирования сразу на все последующие этапы. Это нужно для того, чтобы на необходимом уровне качества выполнить какой-либо из этапов проектирования. Разработчику часто не хватает регламентированной информации от предыдущего этапа и необходима более полная и разнообразная информация, которая могла быть сформулирована на одном из ранних этапов проектирования (не обязательно на соседнем). Разработчики, выполняющие различные этапы проектирования, одновременно с первым этапом проектирования могут получить техническое

задание и, таким образом, сразу начать продумывать, как более успешно реализовать свой этап. Данная технология базируется на модульном построении САПР, на использовании общих баз данных и баз знаний и характеризуется широкими возможностями моделирования и контроля на всех этапах проектирования. Сквозные САПР, как правило, являются интегрированными, т. е. имеют альтернативные алгоритмы реализации отдельных проектных процедур.

#### *Параллельное проектирование*

При параллельном проектировании информация относительно каких-либо промежуточных или окончательных характеристик разрабатываемого изделия формируется и предоставляется всем участникам работ начиная с самых ранних этапов проектирования. В этом случае информация носит прогностический характер. Ее получение базируется на математических моделях и методах прогностической оценки критериев качества проектного решения. Оценка может производиться на основе аналитической модели, статистических методов и методов экспертных систем. Технология параллельного проектирования реализуется на основе интегрированных инструментальных средств прогностической оценки и анализа альтернативных проектных решений с последующим выбором базового проектного решения. Предполагается, что инженер начинает работать над проектом на высоком уровне абстракции с последующей детализацией проекта.

Принципиальное отличие параллельного проектирования от сквозного (хотя параллельное проектирование получило развитие на основе сквозного) в том, что информация не просто поступает на все последующие этапы проектирования, но и, по существу, эти этапы начинают выполняться одновременно.

Фирма MENTOR GRAPHICS впервые создала среду параллельного проектирования на основе принципа объединения всех инструментальных средств проектирования и данных в одном непрерывном и гибком процессе создания изделия.

В состав этой инфраструктуры входят:

- среда управления проектированием;
- система управления данными проекта;
- система поддержки принятия решений (СППР).

#### *Нисходящее проектирование*

Предполагается, что инженер начинает работать над проектом на высоком уровне абстракции с последующей детализацией проекта. Основной задачей руководителя или инженера является определение оптимального концептуального решения, выбор функциональных алгоритмов проектирования, а также выбор наиболее эффективных инструментальных средств проектирования. Другими словами, определение правильной стратегии проектирования на основе достаточно общей и зачастую неопределенной информации. Данная программа решается на основе

применения предикативных инструментальных средств, т. е. программ, обеспечивающих связь этапов функционально-логического, конструкторского проектирования и этапа технологической подготовки производства. При этом предикативный инструментарий используется как на уровне отдельных проектных процедур, так и на уровне проекта в целом. Нисходящее проектирование позволяет получить изделия с другими характеристиками, создать надежное устройство. Все современные производители работают на уровне нисходящего проектирования.

#### *CALS-технология*

Основная идея заключается в создании электронного описания и сопровождения изделия на всех этапах его жизненного цикла. Электронное описание должно соответствовать принятым отечественным и международным стандартам в данной предметной области. Это технология информационного сопровождения создания изделия.

## ЛЕКЦИЯ 4

### CALS-технологии

- Этапы жизненного цикла (ЖЦ) изделия и деятельность по их реализации.
- Информация об изделии по этапам его жизненного цикла.
- Назначение и области применения CALS-технологий.
- Современные направления развития CALS.
- Стандарты CALS.
- STEP-стандарт для описания данных об изделии.
- Основные компоненты STEP.

#### *Этапы жизненного цикла изделия и деятельность по их реализации*

Современный этап развития производственных сил характеризуется высоким уровнем конкуренции между производителями. Главным направлением в конкурентной борьбе становится не только снижение себестоимости продукции, но и повышение ее качества и максимальное ее соответствие конкретным требованиям конкретного потребителя.

Процессы, обеспечивающие жизненный цикл изделия, сопровождаются мощными информационными и материальными потоками. Для их изучения и управления служит логистика – наука об управлении информационными и материальными потоками.

Таблица 2 – Этапы жизненного цикла (ЖЦ) изделия и деятельность по их реализации

| Этапы жизненного цикла   | Деятельность   |
|--------------------------|--|
| Замысел и проектирование | Маркетинг<br>Научные исследования<br>Проектирование  |
| Производство             | Планирование производства<br>Организация производства<br>Оперативное управление производством<br>Строительство, монтаж |
| Эксплуатация и ремонт    | Техническое обслуживание<br>Ремонт   |
| Утилизация               | Демонтаж<br>Переплавка<br>Захоронение  |



## ***Информация об изделии по этапам его жизненного цикла***

Весь объем информации об изделии можно распределить по этапам его жизненного цикла.

1 *Конструктивные данные об изделии (КДИ)* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе проектирования изделия. Содержат сведения о составе изделия, его геометрических моделях, об отношениях компонентов в структуре изделия, о допусках на изготовление деталей и т. д.

2 *Технологические данные об изделии* – совокупность информационных объектов, порождаемых на стадии технологической подготовки производства и ассоциированных с конструкторскими данными об изделии. Содержат сведения о способах изготовления и контроля изделия и его компонентов, описание маршрутных и операционных технологий, нормы времени и расхода материала и т. д.

3 *Производственные данные об изделии* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе производства, ассоциированная с КДИ. Содержат сведения о статусе конкретных экземпляров изделия и его компонентов в производственном цикле (серия, номер серии, дата производства, место хранения).

4 *Данные о качестве изделия* – совокупность информационных объектов, порождаемых при выполнении всех видов контроля, ассоциированная с КДИ. Содержат информацию о степени соответствия конкретных экземпляров изделия и его компонентов заданным технологическим требованиям, требованиям стандартов и других нормативно-технических документов.

5 *Логистические данные* – совокупность информационных объектов, порождаемых в процессе проектирования и производства. Содержат сведения, необходимые для интегрированной логистической поддержки изделия на постпроизводительных стадиях жизненного цикла изделия.

6 *Эксплуатационные данные об изделии* – совокупность информационных объектов, содержащая необходимые сведения для организации обслуживания, ремонта и других действий, обеспечивающих работоспособность изделия.

Необходимость увязки огромного количества разнородной информации вызвала к жизни новую информационную технологию – CALS-технологию.

Под CALS-технологией понимается компьютерная система электронного описания процессов разработки, комплектации, производства, модернизации, сбыта, эксплуатации, сервисного обслуживания и утилизации продукции военного, гражданского и двойного назначения.

## ***Назначение и области применения CALS- технологий***

CALS-технологии предназначены для применения в различных областях:

- в производстве промышленной продукции;
- банковской деятельности;
- здравоохранении;
- строительстве и т. д.

Для обеспечения взаимопонимания разработчиков, поставщиков материалов и комплектующих изделий, изготовителей и потребителей продукции, применяющих системы электронного обмена данными, разработан комплекс международных стандартов по CALS-технологиям.

Существующие сегодня в промышленности технологии относятся к определенным этапам ЖЦИ (конструирование, разработка технологии, планирование производства и т. п.). При этом отсутствует возможность информационного взаимодействия между ними. Возникающие издержки западными аналитиками оцениваются для США в десятки миллионов долларов в год.

Внедрение международных стандартов по CALS-технологиям позволяет интегрировать в одну систему комплекс материальных и информационных потоков, существующих на всех этапах жизненного цикла.

Концепция CALS-технологий на первом этапе ее разработки заключалась в унификации и объединении разнотипных компьютерных сетей промышленных корпораций с целью создания глобальной системы закупок и материально-технического снабжения, используемой при выполнении сложной машино-технической продукции, в том числе вооружения и военной техники.

В ходе выполнения программы реализации CALS-технологий ее первоначальный замысел существенно трансформировался и в настоящее время превратился в инструмент компьютерного проектирования, производства, поставок, эксплуатации сложных технических изделий, а также профилактических и ремонтных работ в процессе их эксплуатации.

Одна из основных идей CALS – возможность включения описания всех видов изделий в единую общую структуру, допускающую обработку различных типов данных и порожденных производных описаний свойств изделий в этой единой структуре.

### ***Современные направления развития CALS***

В настоящее время в CALS выделяют следующие направления:

- методы анализа бизнес-процессов;
- методы и средства параллельного проектирования;
- технологии логистики;
- практическое использование технологий Интернета;
- электронная документация на изделие;
- информационная безопасность;

- унифицированная модель изделия от проектирования до утилизации (ISO 10303-STEP);
- юридические вопросы информационного взаимодействия предприятий.

Цели использования CALS-технологий:

- сокращение затрат на реализацию ЖЦИ в целом;
- повышение эффективности и сокращение затрат в бизнес-процессах;
- повышение конкурентоспособности и рыночной привлекательности производимой продукции;
- создание предпосылок для сохранения и расширения рынков сбыта.

### *Стандарты CALS*

Основной стратегией разработки и внедрения CALS является создание единой индустриальной информационной инфраструктуры. При этом приоритет отдается разработке международных стандартов, подготовка и принятие которых проводится через Международный комитет по стандартизации (ISO). Затем эти стандарты адаптируются в каждом государстве на законодательном уровне.

Типы стандартов:

1 *Функциональные стандарты* (ФС) определяют процессы и их взаимосвязи исходя из целевых потребностей пользователя. ФС включают описания информационного содержания процессов (функций) конкретных проблемных областей, формирующих требования к информации, необходимой для реализации этих процессов.

Пример . MIL-HDBK-99 – «Руководство по программе применения компьютерного обеспечения и технологического оборудования министерства обороны» (США).

2 *Технические стандарты* (ТС) предлагают общий набор правил для цифрового обмена информацией.

Пример . ISO 9660 и MIL-SID-1840B.

3 *Информационные стандарты управления* (ИСУ) дают общее определение информационных элементов, атрибутов, отношений, защиты данных и достижимости данных.

Пример. SGML, STEP, CGM.

Стандарты CALS обеспечивают единое представление текста, графики, информационных структур и данных о проекте, производстве и сопровождении. Также CALS-стандарты обеспечивают единый интерфейс к информации прикладных программ.

## ***STEP-стандарт для описания данных об изделии***

С середины 1980-х годов многие страны вели и ведут в рамках ISO работы по созданию международного стандарта по описанию, передаче и хранению

данных об изделии, а также программных инструментов, обеспечивающих поддержку такого стандарта.

Наилучшее решение в этой области реализовано в фундаментальном стандарте CALS-ISO 10303 (неофициальное название STEP – Standard of the Exchange of Product model data).

*Цель стандарта* – предоставить нейтральный механизм описания данных о продукте на всех стадиях его жизненного цикла.

На сегодняшний день STEP обеспечивает обмен информацией между CAD/CAM-системами и системами управления проектами и охватывает:

- с точки зрения технологии – механообработку и электронику;
- с точки зрения этапов ЖЦ – этап проектирования;
- с точки зрения описания свойств изделия – геометрию (форму и размеры).

### ***Основные компоненты STEP***

1 *Язык Express* – это язык информационного моделирования, предназначенный для описания структуры информационной модели и накладываемых ограничений. Язык обеспечивает описание информационных сущностей (объектов), их атрибутов и связей.

2 *Стандартные решения* – структура физического ASCII-файла для хранения модели (так называемый «обменный файл»).

3 *Базовые информационные модели* – готовые Express - схемы для разных прикладных областей. Для специальных приложений могут быть разработаны свои схемы, и такая работа в рамках ISO ведется постоянно.

## ЛЕКЦИЯ 5

### Технологии и средства проектирования

- Требования к системам автоматизированного проектирования.
- Два направления САПР.
- Назначение CAD/CAE/CAM-систем.
- Распределение CAD/CAE/CAM-систем по этапам ТПП.
- CAE-системы.
- Уровни CAD/CAE/CAM.
- Модульность CAD/CAE/CAM-систем.
- Уровни архивирования модели изделия.

#### *Требования к системам автоматизированного проектирования*

1 Совершенствование методов проектирования, в частности, использование методов многовариантного проектирования и оптимизации для поиска эффективных вариантов и принятия решений.

2 Повышение доли творческого труда инженера-проектировщика.

3 Повышение качества проектной документации.

4 Совершенствование управления процессом разработки проектов.

5 Частичная замена натуральных экспериментов и макетирования моделированием на ЭВМ.

6 Уменьшение объема испытаний и доводки опытных образцов в результате повышения уровня достоверности проектных решений и, следовательно, снижение временных затрат.

#### *Два направления САПР*

Ситуация в области САПР технических систем сложилась таким образом, что образовался очевидный разрыв между специализированным информационным и программным обеспечением, реализующим проектный расчет изделий на различных этапах проектирования (специализированные САПР), и инструментальными средствами проектирования на ЭВМ. Если в первом случае отечественная наука имеет неоспоримые приоритеты как в области математического моделирования технических систем, построения информационного и программного обеспечения, так и в области разработки процедур принятия решений, то в области построения пространственных геометрических моделей деталей и узлов имеется существенное отставание от зарубежных разработок.

*Инструментальные средства* – это CAD/CAE/CAM-системы, которые в промышленности получили широкое распространение.

## ***Назначение CAD/CAE/CAM- систем***

CAD/CAE/CAM-системы предназначены для комплексной автоматизации проектирования, конструирования и изготовления продукции машиностроения. В них фактически объединены три системы разного назначения, разработанные на единой базе, аббревиатуры которых расшифровываются следующим образом:

CAD (Computer Aided Design) – компьютерная поддержка конструирования;

CAE (Computer Aided Engineering) – компьютерная поддержка инженерного анализа;

CAM (Computer Aided Manufacturing) – компьютерная поддержка изготовления;

PDM (Product Data Management) – системы управления проектными данными.

## ***Распределение CAD/CAE/CAM- систем по этапам ТПП***

*Этап конструирования* (CAD, CAE) предполагает объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерный анализ на расчетных моделях высокого уровня, оценку проектных решений, получение чертежей.

*Этап технологической подготовки производства* (АСТПП) – за рубежом называют CAPP (Computer Automated Process Planning) – предполагает разработку технологических процессов, технологической оснастки, управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ. Сюда входит задача САПР ТП – разработка технологической документации (маршрутной, операционной), доводимой до рабочих мест и регламентирующей процесс изготовления детали.

Конкретное описание обработки на оборудовании с ЧПУ в виде управляющих программ вводится в систему автоматизированного управления производственным оборудованием (АСУПР), которую за рубежом называют САМ.

## ***CAE-системы***

Системы, используемые для анализа и оценки функциональных свойств проектируемых объектов, их систем, узлов и деталей, охватывают широкий круг задач моделирования упруго-напряженного, деформированного, теплового состояния, колебаний конструкции, стационарного и нестационарного газодинамического и теплового моделирования с учетом вязкости, аэродинамики, пограничного слоя и т. п. Наиболее распространены CAE-системы, использующие решение систем дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов (МКЭ). Они делятся на универсальные системы анализа с использованием МКЭ и специализированные. Наиболее известны такие

универсальные системы, как Nastran, Ansys, отечественные ИСПА, КОСМОС и другие, позволяющие выполнять различные виды анализа на распределенном уровне. Специализированные системы МКЭ ориентированы на конкретные виды анализа. Примерами таких систем могут служить пакеты Flotran, Fluid, предназначенные для моделирования гидрогазодинамических процессов, OPTRIS – для моделирования деформаций и др.

*PDM-системы* используются на всех этапах проектирования, позволяя осуществлять режим коллективного проектирования, автоматизируя функции управления, связанные с этим режимом: назначение и обеспечение качества ответственности, прав доступа, ведение базы данных проекта и т. д.

### ***Уровни CAD/CAE/CAM- систем***

В зависимости от функциональных возможностей, набора модулей и структурной организации CAD/CAE/CAM системы можно условно разделить на три группы: легкие, средние и тяжелые системы.

*Легкие системы.* Это первый в сложившемся историческом развитии класс систем. К данной категории можно отнести такие системы, как AutoCAD, CAD-KEY, Personal Designer, ADEM, КОМПАС. Они, как правило, используются на персональных компьютерах отдельными пользователями. Такие системы предназначены в основном для качественного выполнения чертежей. Также они могут использоваться для двухмерного (2D) моделирования и несложных трехмерных построений.

Эти системы достигли высокого уровня совершенства. Они просты в использовании, содержат множество библиотек стандартных элементов, поддерживают различные стандарты оформления графической документации.

*Системы среднего класса.* Сравнительно недавно появившийся класс относительно недорогих трехмерных CAD-систем. К нему относятся системы AMD, Solid Edge, Solid Works и т. д. Их появление связано с увеличением мощности персональных компьютеров и развитием операционной системы. С их помощью можно решать до 80 % типичных машиностроительных задач, не привлекая мощные и дорогие CAD/CAM-системы тяжелого класса.

Большинство систем среднего класса основываются на трехмерном твердотельном моделировании. Они позволяют проектировать большинство деталей общего машиностроения, сборочные единицы среднего уровня сложности, выполнять совместную работу группам конструкторов. В этих системах возможно производить анализ пересечений и зазоров в сборках.

*Системы тяжелого класса.* Такие системы предоставляют полный набор интегрированных средств проектирования, производства, анализа изделий. В эту категорию систем попадают CATIA, Unigraphics, Pro/ENGINEER, CADD5, EUCLID, Cimatron. Они используют мощные аппаратные средства, как правило, рабочие станции с операционной системой UNIX.

Системы тяжелого класса позволяют решать широкий спектр конструкторско-технологических задач. Кроме функций, доступных системам среднего класса, тяжелым CAD/CAM-системам доступно:

- проектирование деталей самого сложного типа, содержащих очень сложные поверхности;
- выполнение построения поверхностей по результатам обмера реальной детали, выполнения сглаживания поверхностей и сложных сопряжений;
- проектирование массивных сборок, требующих тщательной компоновки и содержащих элементы инфраструктуры (кабельные жгуты, трубопроводы);
- работа со сложными сборками в режиме вариантного анализа для быстрого просмотра и оценки качества компоновки изделия.

Можно утверждать, что в будущем для автоматизированной разработки преимущественно будут использоваться тяжелые системы во взаимодействии со специализированными САПР, поскольку они значительно снижают трудоемкость проектирования и конструирования.

CAD/CAE/CAM-системы и системы класса PDM позволяют организовать параллельное проектирование – коллективный режим работы над проектом, когда одновременно большое количество специалистов работает над различными частями и стадиями проекта изделия как в рамках ОКБ, так и в рамках виртуальной корпорации (с распределенными смежниками). Все это дает новое качество – проектирование и изготовление превращается в виртуальную технологию изготовления компьютерного макета изделия.

### ***Модульность CAD/CAE/CAM-систем***

Для современных CAD/CAM-систем характерен модульный принцип построения. Ниже перечислен состав базовых модулей для CAD, CAM и PDM систем.

#### *Модули CAD-систем:*

- создание объемной модели детали и узлов со статическим анализом собираемости изделий;
- проектирование поверхностей любой сложности;
- параметризация размеров деталей;
- оформление сборочных и моделировочных чертежей по объемным моделям в соответствии со стандартами;
- фотореалистичное отображение изделия с учетом текстуры материала, цвета и шероховатости поверхности;
- вывод изображения на плоттер;
- импорт-экспорт модели между различными CAD через интерфейсы.

#### *Модули CAM-систем:*

- проектирование технологических процессов изготовления продукции и оснастки;



- динамический контроль процесса сборки;
- выбор параметров холодной штамповки (имитируется весь процесс штамповки, в том числе «наложение» штамповочных приспособлений на поверхность детали);
- создание и отладка программ для станков с ЧПУ (моделируется кинематика станка, его рабочая зона, стойка управления, заготовка, ее крепление и инструмент; на экране подробно отображается процесс обработки);
- оптимизация параметров процессов литья деталей из пластмасс;
- модули программирования для станков с ЧПУ;
- создание, редактирование и моделирование программ измерения и контроля соответствия детали ее объемной модели с помощью координатно-измерительной машины.

#### *Модули PDM-систем:*

- управление общей для разработчиков базой данных;
- информационно-поисковая система документирования;
- автоматизированное распределение задач между разработчиками;
- задание статуса каждого разработчика;
- определение структуры информационных потоков;
- определение комплекта документации;
- контроль изменений;
- контроль выполнения сетевого план-графика проекта;
- контроль полноты разнородной информации об изделии:
  - геометрические данные (модель с размерами и допусками);
  - чертежи;
  - характеристики материалов;
  - спецификации;
  - результаты прочностных расчетов;
  - технологические процессы изготовления;
  - программы для станков с ЧПУ;
  - стоимости компонентов;
  - фотореалистические изображения и пр.;
- автоматизированное создание отчетов о проектах по этим данным;
- архивирование.

#### ***Уровни архивирования модели изделия***

Электронная модель изделия, состоящая из перечисленных данных, проходит в процессе создания три уровня архивирования:

- 1 архив разработчика;
- 2 архив группы разработчиков;
- 3 общий архив готовых проектов.

Перемещение информации на более высокий уровень происходит в результате «электронной подписи» лица, принимающего решение.

## ЛЕКЦИЯ 6

### Структура технического обеспечения САПР

- Требования к ТО САПР.
- Типы сетей.
- Эталонная модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС).

#### *Требования к ТО САПР*

Техническое обеспечение САПР включает в себя различные технические средства (hardware), используемые для выполнения автоматизированного проектирования, а именно ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, а также оборудование некоторых вспомогательных систем (например, измерительных), поддерживающих проектирование.

Используемые в САПР технические средства должны обеспечивать:

1. выполнение всех необходимых проектных процедур, для которых имеется соответствующее ПО;
2. взаимодействие между проектировщиками и ЭВМ, поддержку интерактивного режима работы;
3. взаимодействие между членами коллектива, выполняющими работу над общим проектом.

Первое из этих требований выполняется при наличии в САПР вычислительных машин и систем с достаточными производительностью и емкостью памяти.

Второе требование относится к пользовательскому интерфейсу и выполняется за счет включения в САПР удобных средств ввода-вывода данных и прежде всего устройств обмена графической информацией.

Третье требование обуславливает объединение аппаратных средств САПР в *вычислительную сеть*.

В результате общая структура ТО САПР представляет собой сеть узлов, связанных между собой средой передачи данных (рисунок 5). Узлами (станциями данных) являются рабочие места проектировщиков, часто называемые *автоматизированными рабочими местами* (АРМ) или *рабочими станциями* (WS — Workstation), ими могут быть также большие ЭВМ (мейнфреймы), отдельные периферийные и измерительные устройства. Именно в АРМ должны быть средства для интерфейса проектировщика с ЭВМ. Что касается вычислительной мощности, то она может быть распределена между различными узлами вычислительной сети.



Рисунок 5 – Структура технического обеспечения САПР

*Среда передачи данных* представлена каналами передачи данных, состоящими из линий связи и коммутационного оборудования.

В каждом узле можно выделить *оконечное оборудование данных* (ООД), выполняющее определенную работу по проектированию, и *аппаратуру окончания передачи данных* (АКД), предназначенную для связи ООД со средой передачи данных. Например, в качестве ООД можно рассматривать персональный компьютер, а в качестве АКД – вставляемую в компьютер сетевую плату.

*Канал передачи данных* – средство двустороннего обмена данными, включающее в себя АКД и линию связи. *Линией связи* называют часть физической среды, используемую для распространения сигналов в определенном направлении, примерами линий связи могут служить коаксиальный кабель, витая пара проводов, волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС). Близким является понятие *канала (канала связи)*, под которым понимают средство односторонней передачи данных. Примером канала связи может быть полоса частот, выделенная одному передатчику при радиосвязи. В некоторой линии можно образовать несколько каналов связи, по каждому из которых передается своя информация. При этом говорят, что линия разделяется между несколькими каналами.

### ***Типы сетей***

Существуют два метода разделения линии передачи данных: *временное мультиплексирование* (иначе разделение по времени или TDM – Time Division Method), при котором каждому каналу выделяется некоторый квант времени, и *частотное разделение* (FDM – Frequency Division Method), при котором каналу выделяется некоторая полоса частот.

В САПР небольших проектных организаций, насчитывающих не более единиц-десятков компьютеров, которые размещены на малых расстояниях один от другого (например, в одной или нескольких соседних комнатах)

объединяющая компьютеры сеть является локальной. *Локальная вычислительная сеть* (ЛВС или LAN – Local Area Network) имеет линию связи, к которой подключаются все узлы сети. При этом топология соединений узлов (рисунок 6) может быть шинная (bus), кольцевая (ring), звездная (star). Протяженность линии и число подключаемых узлов в ЛВС ограничены.

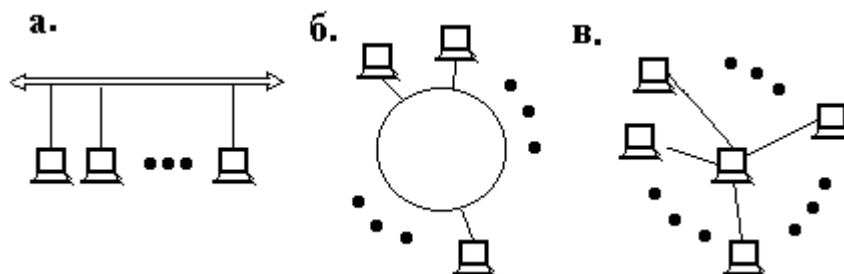


Рисунок 6 – Варианты топологии локальных вычислительных сетей: а) шинная; б) кольцевая; в) звездная

В более крупных по масштабам проектных организациях в сеть включены десятки-сотни и более компьютеров, относящихся к разным проектным и управленческим подразделениям и размещенных в помещениях одного или нескольких зданий. Такую сеть называют *корпоративной*. В ее структуре можно выделить ряд ЛВС, называемых *подсетями*, и средства связи ЛВС между собой. В эти средства входят коммутационные серверы (блоки взаимодействия подсетей). Если коммутационные серверы объединены отделенными от ЛВС подразделений каналами передачи данных, то они образуют новую подсеть, называемую *опорной* (или транспортной), а вся сеть оказывается иерархической структуры.

Если здания проектной организации удалены друг от друга на значительные расстояния (вплоть до их расположения в разных городах), то корпоративная сеть по своим масштабам становится *территориальной сетью* (WAN — Wide Area Network). В территориальной сети различают *магистральные* каналы передачи данных (магистральную сеть), имеющие значительную протяженность, и каналы передачи данных, связывающие ЛВС (или совокупность ЛВС отдельного здания или кампуса) с магистральной сетью и называемые абонентской линией или соединением «последней мили».

Обычно создание *выделенной* магистральной сети, т.е. сети, обслуживающей единственную организацию, обходится для нее слишком дорого. Поэтому чаще прибегают к услугам провайдера, т.е. организации, предоставляющей телекоммуникационные услуги многим пользователям. В этом случае внутри корпоративной сети связь на значительных расстояниях осуществляется через *магистральную сеть общего пользования*. В качестве такой сети можно использовать, например, городскую или междугородную телефонную сеть или территориальные сети передачи данных. Наиболее распространенной формой доступа к этим сетям в настоящее время является обращение к глобальной вычислительной сети Internet.

Для многих корпоративных сетей возможность выхода в Internet является желательной не только для обеспечения взаимосвязи удаленных сотрудников собственной организации, но и для получения других информационных услуг. Развитие виртуальных предприятий, работающих на основе CALS-технологий, с необходимостью подразумевает информационные обмены через территориальные сети, как правило, через Internet.

Структура ТО САПР для крупной организации представлена на рисунок 7. Здесь показана типичная структура крупных корпоративных сетей САПР, называемая архитектурой *клиент-сервер*. В сетях клиент-сервер выделяется один или несколько узлов, называемых *серверами*, которые выполняют в сети управляющие или общие для многих пользователей проектные функции, а остальные узлы (рабочие места) являются терминальными, их называют *клиентами*, в них работают пользователи. В общем случае сервером называют совокупность программных средств, ориентированных на выполнение определенных функций, но если эти средства сосредоточены на конкретном узле вычислительной сети, то тогда понятие сервер относится именно к узлу сети.

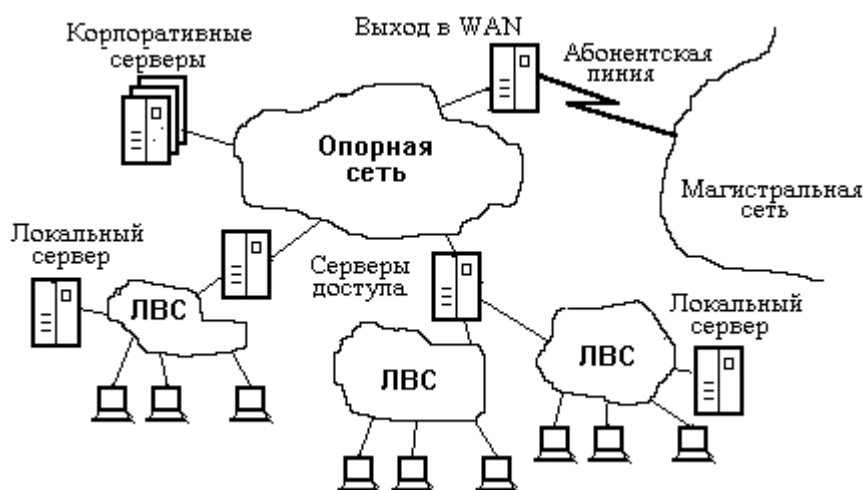


Рисунок 7 – Структура корпоративной сети САПР

Сети клиент-сервер различают по характеру распределения функций между серверами, другими словами, их классифицируют по типам серверов. Различают *файл-серверы* для хранения файлов, разделяемых многими пользователями, *серверы баз данных* автоматизированной системы, *серверы приложений* для решения конкретных прикладных задач, *коммутационные серверы* (называемые также блоками взаимодействия сетей или серверами доступа) для взаимосвязи сетей и подсетей, *специализированные серверы* для выполнения определенных телекоммуникационных услуг, например, серверы электронной почты.

В случае специализации серверов по определенным приложениям сеть называют *сетью распределенных приложений*. Если сервер приложений обслуживает пользователей одной ЛВС, то естественно назвать такой сервер

локальным. Но поскольку в САПР имеются приложения и базы данных, разделяемые пользователями разных подразделений и, следовательно, клиентами разных ЛВС, то соответствующие серверы относят к группе корпоративных, подключаемых обычно к опорной сети (см. рисунок 7).

Наряду с архитектурой клиент-сервер применяют *одноранговые* сети, в которых любой узел в зависимости от решаемой задачи может выполнять как функции сервера, так и функции клиента. Организация взаимодействия в таких сетях при числе узлов более нескольких десятков становится чрезмерно сложной, поэтому одноранговые сети применяют только в небольших по масштабам САПР.

В соответствии со способами коммутации различают сети с *коммутацией каналов* и *коммутацией пакетов*. В первом случае при обмене данными между узлами А и В в сети создается физическое соединение между А и В, которое во время сеанса связи используется только этими абонентами. Примером сети с коммутацией каналов может служить телефонная сеть. Здесь передача информации происходит быстро, но каналы связи используются неэффективно, так как при обмене данными возможны длительные паузы и канал «простаивает». При коммутации пакетов физического соединения, которое в каждый момент сеанса связи соединяло бы абонентов А и В, не создается. Сообщения разделяются на порции, называемые *пакетами*, которые передаются в разветвленной сети от А к В или обратно через промежуточные узлы с возможной буферизацией (временным запоминанием) в них. Таким образом, любая линия может разделяться многими сообщениями, попеременно пропуская при этом пакеты разных сообщений с максимальным заполнением упомянутых пауз.

### ***Эталонная модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС)***

Для удобства модернизации сложных информационных систем их делают максимально *открытыми*, т.е. приспособленными для внесения изменений в некоторую часть системы при сохранении неизменными остальных частей. В отношении вычислительных сетей реализация концепции открытости привела к появлению ЭМВОС, предложенной международной организацией стандартизации (ISO – International Standard Organization). В этой модели дано описание общих принципов, правил, соглашений, обеспечивающих взаимодействие информационных систем и называемых *протоколами*.

В ЭМВОС информационную сеть рассматривают как совокупность функций (протоколов), которые подразделяют на группы, называемые *уровнями*. Именно разделение на уровни позволяет вносить изменения в средства реализации одного уровня без перестройки средств других уровней,

что значительно упрощает и удешевляет модернизацию средств по мере развития техники.

ЭМВОС содержит семь уровней.

На *физическом* (physical) уровне осуществляется представление информации в виде электрических или оптических сигналов, преобразование формы сигналов, выбор параметров физических сред передачи данных, организуется передача информации через физические среды.

На *канальном* (link) уровне выполняется обмен данными между соседними узлами сети, т.е. узлами, непосредственно связанными физическими соединениями без других промежуточных узлов. Отметим, что пакеты канального уровня обычно называют *кадрами*.

На *сетевом* (network) уровне происходит формирование пакетов по правилам тех промежуточных сетей, через которые проходит исходный пакет, и *маршрутизация* пакетов, т.е. определение и реализация маршрутов, по которым передаются пакеты. Другими словами, маршрутизация сводится к образованию логических каналов. *Логическим каналом* называют виртуальное соединение двух или более объектов сетевого уровня, при котором возможен обмен данными между этими объектами. Понятию логического канала необязательно соответствует физическое соединение линий передачи данных между связываемыми пунктами. Это понятие введено для абстрагирования от физической реализации соединения. Еще одной важной функцией сетевого уровня после маршрутизации является контроль нагрузки на сеть с целью предотвращения перегрузок, отрицательно влияющих на работу сети.

На *транспортном* (transport) уровне обеспечивается связь между оконечными пунктами (в отличие от предыдущего сетевого уровня, на котором обеспечивается передача данных через промежуточные компоненты сети). К функциям транспортного уровня относятся мультиплексирование и демultipлексирование (сборка-разборка пакетов в конечных пунктах), обнаружение и устранение ошибок в переданных данных, реализация заказанного уровня услуг (например, заказанных скорости и надежности передачи).

На *сеансовом* (session) уровне определяются тип связи (дуплекс или полудуплекс), начало и окончание заданий, последовательность и режим обмена запросами и ответами взаимодействующих партнеров.

На *представительном* (presentation) уровне реализуются функции представления данных (кодирование, форматирование, структурирование). Например, на этом уровне выделенные для передачи данные преобразуются из одного кода в другой.

На *прикладном* (application) уровне определяются и оформляются в сообщения те данные, которые подлежат передаче по сети.

В конкретных случаях может возникать потребность в реализации лишь части названных функций, тогда соответственно сеть будет содержать лишь часть уровней. Так, в простых (неразветвленных) ЛВС отпадает необходимость в средствах сетевого и транспортного уровней. Одновременно сложность функций канального уровня делает целесообразным его разделение в ЛВС на два подуровня: *управление доступом к каналу* (MAC — Medium Access Control) и *управление логическим каналом* (LLC — Logical Link Control). К подуровню LLC в отличие от подуровня MAC относится часть функций канального уровня, не зависящих от особенностей передающей среды.

Передача данных через разветвленные сети происходит при использовании *инкапсуляции-декапсуляции* порций данных. Так, сообщение, пришедшее на транспортный уровень, делится на сегменты, которые получают заголовки и передаются на сетевой уровень. Сегментом обычно называют пакет транспортного уровня. Сетевой уровень организует передачу данных через промежуточные сети. Для этого сегмент может быть разделен на части (пакеты), если сеть не поддерживает передачу сегментов целиком. Пакет снабжается своим сетевым заголовком (т.е. происходит инкапсуляция). При передаче между узлами промежуточной ЛВС требуется инкапсуляция пакетов в кадры с возможной разбивкой пакета. Приемник декапсулирует сегменты и восстанавливает исходное сообщение.



## ЛЕКЦИЯ 7

### Аппаратура рабочих мест в автоматизированных системах проектирования и управления

- Вычислительные системы в САПР.
- Периферийные устройства.
- Особенности технических средств в АСУТП.
- Множественные доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов.
- Маркерные методы доступа.

#### *Вычислительные системы в САПР*

В качестве средств обработки данных в современных САПР широко используют рабочие станции, серверы, персональные компьютеры. Большие ЭВМ и в том числе суперЭВМ обычно не применяют, так как они дороги и их отношение производительность/цена существенно ниже подобного показателя серверов и многих рабочих станций.

На базе рабочих станций или персональных компьютеров создают АРМ.

Типичный состав устройств АРМ: ЭВМ с одним или несколькими микропроцессорами, оперативной и кэш-памятью и шинами, служащими для взаимной связи устройств; устройства ввода-вывода, включающие в себя, как минимум, клавиатуру, мышь, дисплей; дополнительно в состав АРМ могут входить принтер, сканер, плоттер (графопостроитель), дигитайзер и некоторые другие периферийные устройства.

Память ЭВМ обычно имеет иерархическую структуру. Поскольку в памяти большого объема трудно добиться одновременно высокой скорости записи и считывания данных, память делят на сверхбыстродействующую кэш-память малой емкости, основную оперативную память умеренного объема и сравнительно медленную внешнюю память большой емкости, причем, в свою очередь, кэш-память часто разделяют на кэш первого и второго уровней.

Например, в персональных компьютерах на процессорах Pentium III кэш первого уровня имеет по 16 Кбайт для данных и для адресов, он и кэш второго уровня емкостью 256 Кбайт встроены в процессорный кристалл, емкость оперативной памяти составляет десятки-сотни Мбайт.

Для связи наиболее быстродействующих устройств (процессора, оперативной и кэш-памяти, видеокарты) используется системная шина с пропускной способностью до одного-двух Гбайт/с. Кроме системной шины на материнской плате компьютера имеются шина расширения для подключения сетевого контроллера и быстрых внешних устройств (например, шина PCI с пропускной способностью 133 Мбайт/с) и шина медленных внешних устройств, таких как клавиатура, мышь, принтер и т.п.

*Рабочие станции* (workstation) по сравнению с персональными компьютерами представляют собой вычислительную систему, специализированную на выполнение определенных функций. Специализация обеспечивается как набором программ, так и аппаратно за счет использования дополнительных специализированных процессоров. Так, в САПР для машиностроения преимущественно применяют графические рабочие станции для выполнения процедур геометрического моделирования и машинной графики. Эта направленность требует мощного процессора, высокоскоростной шины, памяти достаточно большой емкости.

Высокая производительность процессора необходима по той причине, что графические операции (например, перемещения изображений, их повороты, удаление скрытых линий и др.) часто выполняются по отношению ко всем элементам изображения. Такими элементами в трехмерной (3D) графике при аппроксимации поверхностей полигональными сетками являются многоугольники, их число может превышать 104. С другой стороны, для удобства работы проектировщика в интерактивном режиме задержка при выполнении команд указанных выше операций не должна превышать нескольких секунд. Но поскольку каждая такая операция по отношению к каждому многоугольнику реализуется большим числом машинных команд требуемое быстродействие составляет десятки миллионов машинных операций в секунду. Такое быстродействие при приемлемой цене достигается применением наряду с основным универсальным процессором также дополнительных специализированных (графических) процессоров, в которых определенные графические операции реализуются аппаратно.

В наиболее мощных рабочих станциях в качестве основных обычно используют высокопроизводительные микропроцессоры с сокращенной системой команд (с RISC-архитектурой), работающие под управлением одной из разновидностей операционной системы Unix. В менее мощных все чаще используют технологию Wintel (т.е. микропроцессоры Intel и операционные системы Windows). Графические процессоры выполняют такие операции, как, например, растеризация — представление изображения в растровой форме для ее визуализации, перемещение, вращение, масштабирование, удаление скрытых линий и т.п.

Типичные характеристики рабочих станций: несколько процессоров, десятки-сотни мегабайт оперативной и тысячи мегабайт внешней памяти, наличие кэш-памяти, системная шина со скоростями от сотен Мбайт/с до 1-2 Гбайт/с.

В зависимости от назначения существуют АРМ конструктора, АРМ технолога, АРМ руководителя проекта и т.п. Они могут различаться составом периферийных устройств, характеристиками ЭВМ. В АРМ конструктора (графических рабочих станциях) используются растровые мониторы с цветными трубками. Типичные значения характеристик мониторов находятся в следующих пределах: размер экрана по диагонали 17...24 дюйма (фактически изображение занимает площадь на 5...8 % меньше, чем

указывается в паспортных данных). Разрешающая способность монитора, т.е. число различных пикселей (отдельных точек, из которых состоит изображение), определяется шагом между отверстиями в маске, через которые проходит к экрану электронный луч в электронно-лучевой трубке. Этот шаг находится в пределах 0,21...0,28 мм, что соответствует количеству пикселей изображения от 800x600 до 1920x1200 и более. Чем выше разрешающая способность, тем шире должна быть полоса пропускания электронных блоков видеосистемы при одинаковой частоте кадровой развертки. Полоса пропускания видеоусилителя находится в пределах 110...150 МГц и потому частота кадровой развертки обычно снижается с 135 Гц для разрешения 640x480 до 60 Гц для разрешения 1600x1200.

Отметим, что чем ниже частота кадровой развертки, а это есть частота регенерации изображения, тем заметнее мерцание экрана. Желательно, чтобы эта частота была не ниже 75 Гц.

Специально выпускаемые ЭВМ как серверы высокой производительности обычно имеют структуру симметричной многопроцессорной вычислительной системы. В них системная память разделяется всеми процессорами, каждый процессор может иметь свою сверхоперативную память сравнительно небольшой емкости, число процессоров невелико (единицы, редко более десяти). Например, сервер Enterprise 250 (Sun Microsystems) имеет 1-2 процессора, его цена в зависимости от комплектации колеблется в диапазоне 24-56 тыс. долларов, а сервер Enterprise 450 с четырьмя процессорами стоит от 82 до 95 тысяч долларов.

### ***Периферийные устройства.***

Для ввода графической информации с имеющихся документов в САПР используют дигитайзеры и сканеры.

*Дигитайзер* применяют для ручного ввода. Он имеет вид кульмана, по его электронной доске перемещается курсор, на котором расположен визир и кнопочная панель. Курсор имеет электромагнитную связь с сеткой проводников в электронной доске. При нажатии кнопки в некоторой позиции курсора происходит занесение в память информации о координатах этой позиции. Таким образом может осуществляться ручная «сколка» чертежей.

Для автоматического ввода информации с имеющихся текстовых или графических документов используют *сканеры* планшетного или протяжного типа. Способ считывания — оптический. В сканирующей головке размещаются оптоволоконные самофокусирующиеся линзы и фотоэлементы. Разрешающая способность в разных моделях составляет от 300 до 800 точек на дюйм (этот параметр часто обозначают dpi). Считанная информация имеет растровую форму, программное обеспечение сканера представляет ее в одном из стандартных форматов, например TIFF, GIF, PCX, JPEG, и для дальнейшей обработки может выполнить векторизацию — перевод графической информации в векторную форму, например, в формат DXF.

Для вывода информации применяют принтеры и плоттеры. Первые из них ориентированы на получение документов малого формата (А3, А4), вторые — для вывода графической информации на широкоформатные носители.

В этих устройствах преимущественно используется растровый (т.е. построчный) способ вывода со струйной технологией печати. Печатающая система в струйных устройствах включает в себя картридж и головку. Картридж — баллон, заполненный чернилами (в цветных устройствах имеется несколько картриджей, каждый с чернилами своего цвета). Головка — матрица из сопел, из которых мельчайшие чернильные капли поступают на носитель. Физический принцип действия головки термический или пьезоэлектрический. При термопечати выбрасывание капель из сопла происходит под действием его нагревания, что вызывает образование пара и выбрасывание капелек под давлением. При пьезоэлектрическом способе пропускание тока через пьезоэлемент приводит к изменению размера сопла и выбрасыванию капли чернил. Второй способ дороже, но позволяет получить более высококачественное изображение.

Типичная разрешающая способность принтеров и плоттеров 300 dpi, в настоящее время она повышена до 1200 dpi. В современных устройствах управление осуществляется встроенными микропроцессорами. Типичное время вывода монохромного изображения формата А1 находится в пределах от 2 до 7 мин, цветного — в два раза больше.

Дигитайзеры, сканеры, принтеры, плоттеры могут входить в состав АРМ или разделяться пользователями нескольких рабочих станций в составе локальной вычислительной сети.

### ***Особенности технических средств в АСУТП***

Специфические требования предъявляют к вычислительной аппаратуре, работающей в составе АСУТП в цеховых условиях. Здесь используют как обычные персональные компьютеры, так и специализированные программируемые логические контроллеры (ПЛК), называемые *промышленными компьютерами*. Специфика ПЛК — наличие нескольких аналоговых и цифровых портов, встроенный интерпретатор специализированного языка, детерминированные задержки при обработке сигналов, требующих незамедлительного реагирования. Однако ПЛК в отличие от персональных компьютеров IBM PC рассчитаны на решение ограниченного круга задач в силу специализированности программного обеспечения.

В целом промышленные компьютеры имеют следующие особенности: 1) работа в режиме реального времени (для промышленных персональных компьютеров разработаны такие ОС реального времени, как OS-9, QNX, VRTX и др.); 2) конструкция, приспособленная для работы ЭВМ в цеховых условиях (повышенные вибрации, электромагнитные помехи, запыленность,

перепады температур, иногда взрывоопасность); 3) возможность встраивания дополнительных блоков управляющей, регистрирующей, сопрягающей аппаратуры, что помимо специальных конструкторских решений обеспечивается использованием стандартных шин и увеличением числа плат расширения; 4) автоматический перезапуск компьютера в случае “зависания” программы; 5) повышенные требования к надежности функционирования. В значительной мере специализация промышленных компьютеров определяется программным обеспечением. Конструктивно промышленный компьютер представляет собой корзину (крейт) с несколькими гнездами (слотами) для встраиваемых плат. Возможно использование мостов между крейтами. В качестве стандартных шин в настоящее время преимущественно используются шины VME-bus (Versabus Module Europe-bus) и PCI (Peripheral Component Interconnect).

VME-bus — системная шина для создания распределенных систем управления на основе встраиваемого оборудования (процессоры, накопители, контроллеры ввода-вывода). Представляет собой расширение локальной шины компьютера на несколько гнезд объединительной платы (до 21 слота), возможно построение многомастерных систем, т.е. систем, в которых ведущими могут быть два или более устройств. Имеет 32-разрядные немультимплексируемые шины данных и адресов, возможно использование мультимплексируемой 64-разрядной шины. Пропускная способность шины 320 Мбайт/с.

PCI — более удобная шина для однопроцессорных архитектур, получает все большее распространение. Пропускная способность до 264 Мбайт/с, разрядность шины 2x32 и (или) при мультимплексировании 64, архитектура с одним ведущим устройством. Имеется ряд разновидностей шины, например шина CompactPCI, в которой унифицирован ряд геометрических и механических параметров.

Программная связь с аппаратурой нижнего уровня (датчиками, исполнительными устройствами) происходит через драйверы. Межпрограммные связи реализуются через интерфейсы, подобные OLE. Для упрощения создания систем разработан стандарт OPC (OLE for Process Control).

### ***Множественные доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов***

Типичная среда передачи данных в ЛВС — отрезок (сегмент) коаксиального кабеля. К нему через аппаратуру окончания канала данных подключаются узлы — компьютеры и, возможно, общее периферийное оборудование. Поскольку среда передачи данных общая, а запросы на сетевые обмены в узлах появляются асинхронно, то возникает проблема разделения общей среды между многими узлами, другими словами, проблема обеспечения доступа к сети.

*Доступом к сети* называют взаимодействие станции (узла сети) со средой передачи данных для обмена информацией с другими станциями. Управление доступом к сети — это установление последовательности, в которой станции получают доступ к среде передачи данных.

Различают случайные и детерминированные методы доступа. Среди случайных методов наиболее известен метод *множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов* (МДКН/ОК). Англоязычное название метода — Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD). Этот метод основан на контроле наличия электрических колебаний (несущей) в линии передачи данных и устранении конфликтов, возникающих в случае попыток одновременного начала передачи двумя или более станциями, путем повторения попыток захвата линии через случайный отрезок времени.

МДКН/ОК является широкоэвещательным (broadcasting) методом. Все станции при применении МДКН/ОК равноправны по доступу к сети. Если линия передачи данных свободна, то в ней отсутствуют электрические колебания, что легко распознается любой станцией, желающей начать передачу. Такая станция захватывает линию. Любая другая станция, желающая начать передачу в некоторый момент времени  $t$ , если обнаруживает электрические колебания в линии, то откладывает передачу до момента  $t + t_d$ , где  $t_d$  — задержка.

При работе сети каждая станция анализирует адресную часть передаваемых по сети кадров с целью обнаружения и приема кадров, предназначенных для нее.

*Конфликтом* называют ситуацию, при которой две или более станции «одновременно» пытаются захватить линию. Понятие «одновременность событий» в связи с конечностью скорости распространения сигналов по линии конкретизируется как отстояние событий во времени не более чем на величину  $2d$ , называемую *окном столкновений*, где  $d$  — время прохождения сигналов по линии между конфликтующими станциями. Если какие-либо станции начали передачу в окне столкновений, то по сети распространяются искаженные данные. Это искажение и используют для обнаружения конфликта либо сравнением в передатчике данных, передаваемых в линию (неискаженных) и получаемых из нее (искаженных), либо по появлению постоянной составляющей напряжения в линии, что обусловлено искажением используемого для представления данных манчестерского кода. Обнаружив конфликт, станция должна оповестить об этом партнера по конфликту, послав дополнительный сигнал затора, после чего станции должны отложить попытки выхода в линию на время  $t_d$ . Очевидно, что значения  $t_d$  должны быть различными для станций, участвующих в столкновении (конфликте), поэтому  $t_d$  — случайная величина.

## *Маркерные методы доступа*

Среди детерминированных методов преобладают *маркерные методы доступа*. Маркерный метод — метод доступа к среде передачи данных в ЛВС, основанный на передаче полномочий передающей станции с помощью специального информационного объекта, называемого маркером. Под полномочием понимается право инициировать определенные действия, динамически предоставляемые объекту, например станции данных в информационной сети.

Применяется ряд разновидностей маркерных методов доступа. Например, в *эстафетном методе* передача маркера выполняется в порядке очередности; в способе *селекторного опроса* (квантированной передачи) сервер опрашивает станции и передает полномочие одной из тех станций, которые готовы к передаче. В кольцевых одноранговых сетях широко применяют тактируемый маркерный доступ, при котором маркер циркулирует по кольцу и используется станциями для передачи своих данных.

## ЛЕКЦИЯ 8

### Локальные вычислительные сети Ethernet

- Состав аппаратуры.
- Структура кадра.
- Разновидности сетей Ethernet.

#### *Состав аппаратуры*

Одной из первых среди ЛВС шинной структуры была создана сеть Ethernet, разработанная фирмой Xerox. В этой сети был применен метод доступа МДКН/ОК. Позднее Ethernet стала основой стандарта IEEE 802/3. Другой вариант шинных ЛВС соответствует стандарту IEEE 802/4, описывающему сеть с эстафетной передачей маркера.

Технология Ethernet наиболее распространена в ЛВС. Так, по данным на 1996 г. 85% всех компьютеров в ЛВС были в сетях Ethernet.

В качестве линий передачи данных в ЛВС используют коаксиальный кабель, витую пару проводов или ВОЛС. Длины используемых отрезков коаксиального кабеля не должны превышать нескольких сотен метров, а у витой пары проводов — десятков метров. При больших расстояниях в среду передачи данных включают формирователи сигналов — повторители для сопряжения отрезков. ВОЛС позволяет существенно увеличить предельные расстояния и скорость передачи данных.

Для связи компьютеров со средой передачи данных используют сетевые контроллеры (адаптеры, сетевые карты), управляющие доступом к сети, и приемопередатчики, служащие для связи сетевого контроллера с линией связи.

*Сетевой контроллер* реализует принятый метод доступа к каналу, а также в случае метода МДКН/ОК осуществляет действия по выработке сигнала затора, задержке в передаче при наличии конфликта или при занятом моноканале, по формированию кадров, кодированию (декодированию) электрических сигналов в (из) специальный последовательный код, называемый манчестерским, распознаванию адреса в передаваемых по сети сообщениях.

После образования информационного кадра станция должна получить полномочия. Для этого контроллер прослушивает канал в ожидании его освобождения или прихода маркера. После получения полномочий осуществляется преобразование параллельного кода в последовательный, преобразование в манчестерский код и передача сигналов в кабель.

В состав приемопередатчика в шинных ЛВС с методом МДКН/ОК входят приемник сигналов от линии и передатчик сигналов от станции в линию. Назначение приемника — усиление информационных сигналов и обнаружение конфликтов путем выделения постоянной составляющей



искаженных сигналов и ее сопоставления в компараторе с эталонным напряжением.

### ***Структура кадра***

Кадр в стандарте IEEE 802/3, реализующем МДКН/ОК, имеет следующую структуру (ниже указаны последовательности полей кадра, их назначение, в скобках даны размеры полей в байтах):

< Преамбула (7) – ограничитель (1) – адрес назначения (2 или 6) – адрес источника (2 или 6) – длина кадра (2) – данные (от 64 до 1518 байт) – заполнение – контрольный код (4) >

Преамбула и ограничитель служат для установления синхронизации и отождествления начала кадра. Ограничители представляют собой уникальную последовательность битов, обычно это код 01111110. Чтобы эта последовательность была уникальной, в основных полях осуществляется *стаффинг* — добавление нуля после каждой последовательности из пяти подряд идущих единиц. На приемном конце такой ноль удаляется.

Шестибайтовый адрес — уникальный номер сетевой платы, он назначается изготовителем по выданной ему лицензии на определенный диапазон адресов.

### ***Разновидности сетей Ethernet***

Рядом фирм на базе проекта сети Ethernet разрабатывается оборудование для ЛВС. В настоящее время унифицировано несколько вариантов сети Ethernet, различающихся топологией, особенностями физической среды передачи данных, информационной скоростью передачи данных.

1. Thick Ethernet (*шина с «толстым» кабелем*); принятое обозначение варианта 10Base-5, где первый элемент «10» характеризует скорость передачи данных по линии 10 Мбит/с, последний элемент «5» — максимальную длину сегмента кабеля (в сотнях метров), т.е. 500 м. Другие параметры сети: максимальное число сегментов 5; максимальное число узлов на одном сегменте 100; минимальное расстояние между узлами 2,5 м. Здесь под *сегментом* кабеля понимается часть кабеля, используемая в качестве линии передачи данных и имеющая на концах согласующие элементы (*терминаторы*) для предотвращения отражения сигналов.

2. Thin Ethernet (*шина с «тонким» кабелем, cheapernet*); принятое обозначение 10Base-2: максимальное число сегментов 5; максимальная длина сегмента 185 м; максимальное число узлов на одном сегменте 30; минимальное расстояние между узлами 0,5 м; скорость передачи данных по линии 10 Мбит/с.

3. Twisted Pair Ethernet; принятое обозначение 10Base-T; это кабельная сеть с использованием витых пар проводов и концентраторов, называемых

также распределителями, или хабами (hubs). Представление о структуре сети может дать рис. 2.4. В состав сетевого оборудования входят активные (АН) и пассивные (РН) концентраторы (active and passive hubs), различие между которыми заключается в наличии или отсутствии усиления сигналов и в количестве портов. Число портов в активных хабах обычно составляет 8, 12 или 16. В одной из разновидностей сети 10Base-T допускаются расстояния между активными распределителями до 600 м и между пассивными до 30 м, предельное число узлов 100. Физическая организация линий связи в 10Base-T мало напоминает шину. Однако в такой сети вполне возможна реализация метода доступа МДКН/ОК, и для пользователя (любого отдельного узла) разветвленная сеть из витых пар и концентраторов, по которой происходит широковещательная передача, есть просто среда передачи данных, такая же, как шина. Поэтому по логической организации сеть 10Base-T представляет собой сеть типа Ethernet. В то же время по своей топологии 10Base-T может быть вариантом «звезда», «дерево» и т.п. В этой сети не рекомендуется включать последовательно более четырех хабов.

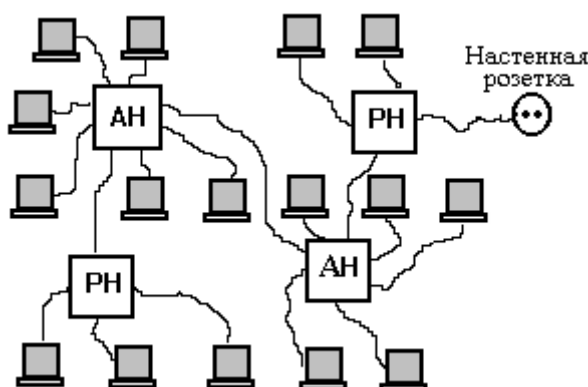


Рисунок 8 - Среда передачи данных на витой паре и концентраторах

4. Fiber Optic Ethernet (шина на основе оптоволоконного кабеля), обозначение 10Base-F; применяется для соединений точка-точка, например, для соединения двух конкретных распределителей в кабельной сети. Максимальные длины — в пределах 2...4 км. Цена оптоволоконного кабеля приблизительно такая же, как и медного кабеля, но у первого из них меньше габариты и масса, достигается полная гальваническая развязка. Приемопередатчик (повторитель) для волоконно-оптических линий передачи данных (световодов) состоит из частей приемной, передающей, чтения и записи данных. В приемной части имеются фотодиод, усилитель-формирователь сигналов с требуемыми уровнями напряжения, механическое контактирующее устройство для надежного контакта фотодиода со стеклянной оболочкой кабеля. Передатчик представлен светодионом или микролазером.

5. RadioEthernet (стандарт IEEE 802/11). Среда передачи данных —

радиоволны, распространяющиеся в эфире. Структура сети может быть «постоянной» при наличии базовой кабельной сети с точками доступа от узлов по радиоканалам или «временной», когда обмены между узлами происходят только по радиоканалам. Применяется модифицированный метод МДКН/ОК, в котором вместо обнаружения конфликтов используется предотвращение конфликтов. Это осуществляется следующим образом: узел, запрашивающий связь, посылает в эфир специальный кадр запроса, а передачу информации он может начать только после истечения межкадрового промежутка времени  $T$ , если за время  $T$  после запроса в эфире не было других запросов. Иначе попытка передачи откладывается на случайное время. Любой узел может посылать кадр запроса, только если за время  $T$  перед этим в эфире не было других кадров запроса.

Предусмотрена посылка положительной квитанции от приемного узла, подтверждающая правильность приема кадра. Квитанция посылается с малой задержкой  $t$  после окончания приема. В этом интервале длительностью  $t$  конфликты невозможны, так как претенденты на передачу могут посылать кадры запроса только в том случае, если перед посылкой эфир свободен в течение интервала времени не менее  $T$  (это условие выполняется и для узлов с отложенной из-за конфликта передачей), а  $t < T$ .

6. Сеть Fast Ethernet, иначе называемая 100BaseX или 100Base-T (стандарт IEEE 802/30). Информационная скорость 100 Мбит/с. В этой сети применен метод доступа МДКН/ОК. Используется для построения скоростных ЛВС (последовательно включается не более двух хабов), для объединения низкоскоростных подсетей 10Base-T в единую скоростную сеть и для подключения серверов на расстояниях до 200 м. В последнем случае серверы соединяются с клиентскими узлами через шину 100 Мбит/с и коммутатор, называемый также конвертором, преобразователем или переключателем скорости 100/10. К конвертору, с другой стороны, подключено несколько шин 10 Мбит/с, на которые нагружены остальные узлы. Практически можно использовать до 250 узлов, теоретически — до 1024. Подсетями могут быть как Fast Ethernet, так и обычные Ethernet со скоростью 10 Мбит/с, включенные через преобразователь скорости. Различают следующие варианты: 100Base-TX, в котором применяют кабель из двух неэкранированных витых пар категории 5, 100Base-T4 — с четырьмя неэкранированными парами категории 5, 100Base-FX — на ВОЛС.

7. Gigabit Ethernet 1000Base-X. В этом варианте получены гигабитные скорости. В соответствии со стандартом IEEE 802.3z имеются разновидности на ВОЛС с длиной волны 830 или 1270 нм (1000Base-SX и 1000Base-LX соответственно) на расстояниях до 550 м и на витой паре категории 5 (1000Base-CX) на расстояниях до 25 м. Скорость до 1 Гбит/с. Такая скорость достигается благодаря следующим решениям.

Сеть имеет иерархическую структуру. Участки (отдельные компьютеры

или подсети) по 10 Мбит/с подключаются к портам переключателей (switches) скорости 10/100, их выходы по 100 Мбит/с, в свою очередь, подключаются к портам переключателей 100/1000. В сегментах сети, имеющих 1000 Мбит/с, используются, во-первых, передача данных по ВОЛС или параллельно по четырем витым парам, во-вторых, 5-уровневое представление данных (например, +2, +1, 0, -1, -2 В), в-третьих, кодирование 8b/10b (пояснение см. ниже). В результате в каждой витой паре имеем 250 Мбит/с при частоте сигналов 125 МГц, а это уже приемлемая частота для передачи по проводным соединениям.

## ЛЕКЦИЯ 9

### Сети кольцевой топологии

- Сети Token Ring.
- Сеть FDDI.

#### *Сети Token Ring*

Из кольцевых ЛВС наиболее распространены сети с передачей маркера по кольцу и среди них: 1) ЛВС типа Token Ring (сеть с таким названием была разработана фирмой IBM и послужила основой для стандарта IEEE 802/5); 2) сети FDDI (Fiber Distributed Data Interface) на основе ВОЛС.

Поле “управление доступом” используется для указания порядкового номера кадра, смысла команд, содержащихся в кадре, и т.п. Так, в IEEE 802/5 это поле включает в себя указание приоритета (три бита), Т — бит маркера, М — мониторный бит и три бита резервирования. Если  $T = 0$ , то кадр воспринимается как маркер, если  $T = 1$ , то кадр является информационным (т.е. маркер занят — поле «данные» заполнено). Поле «состояние кадра» используется для отметки того, что принимающая станция опознала свой адрес и восприняла данные.

Топология сети Token Ring показана на рисунке 9, а. Концентраторы служат для удобства управления сетью, в частности для отключения от кольца неисправных узлов. На рисунке 9, б представлена схема подключения узлов к кольцу в концентраторах. Для отключения узла достаточно левые переключатели (см. рисунок 9, б) поставить в верхнее, а правые переключатели — в нижнее положение (в нормальном режиме положение переключателей противоположное).

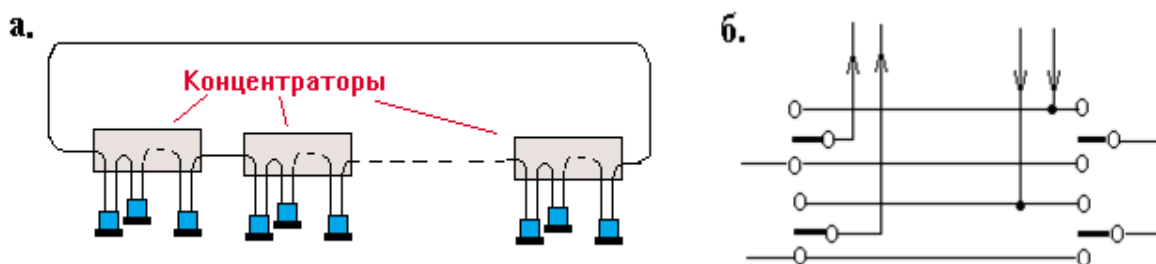


Рисунок 9 - Схема сети Token Ring: а) общий вид; б) схема подключения узла к кольцу

Типичная реализация сети Token Ring характеризуется следующими данными: максимальное число станций 96; максимальное число концентраторов 12; максимальная длина замыкающего кабеля 120 м; максимальная длина кабеля между двумя концентраторами или между концентратором и станцией 45 м; два варианта скорости передачи данных по линии 4 или 16 Мбит/с.

Функционирование сети заключается в следующем.

В кольцевых локальных сетях сигналы циркулируют по кольцу, состоящему из ряда отрезков линии связи, которые соединяют пары соседних узлов. Эти отрезки соединяются в узлах через повторители сигналов, выполняющих функции приема и передачи сигналов как из кольца и в кольцо, так и между АКД и линией. Повторители вносят некоторую задержку в передачу сигналов, поэтому общая задержка зависит от числа станций, включенных в кольцо.

Одним из способов взаимосвязи линии и АКД является способ вставки регистра. Станцию, получившую полномочия, называют *активной станцией*. Активная станция осуществляет вставку регистра в разрыв кольца и подключает передающий регистр, из которого в кольцо посылается передаваемый кадр.

Эти регистры являются сдвигающими. Кадр проходит через кольцо и возвращается на вставленный регистр. По пути его адресная часть проверяется остальными станциями, поскольку в них предусмотрена расшифровка адресной и управляющей информации. Если пакет предназначен данной станции, то принимается информационная часть пакета, проверяется правильность приема и при положительном результате проверки в кольцо направляется соответствующее подтверждение. Передающая(активная) станция одновременно с передачей сформированного в ней пакета принимает пакет, прошедший по кольцу, на вставленный регистр. В каждом такте сдвига в кольцо направляется очередной бит данных, а из кольца с некоторой задержкой возвращаются переданные биты. Если подтверждена правильность передачи, то переданные данные стираются в передающей станции, которая направляет в кольцо свободный маркер, если не подтверждена, то осуществляется повторная передача пакета.

Станции, готовые к передаче собственных данных, ждут прихода свободного маркера. Станция, получившая полномочия, вставляет свой регистр в кольцо, становясь активной, а вставленный ранее регистр исключается из кольца.

Циркулирующий по сети маркер состоит из следующих частей:

*<Ограничитель - P - T - M - R - Ограничитель>*

Если  $T = 0$ , то маркер свободен. Тогда если он проходит мимо станции, имеющей данные для передачи, и приоритет станции не ниже значения, записанного в P, то станция преобразует маркер в информационный кадр: устанавливает  $T = 1$  и записывает между R и конечным ограничителем адрес получателя, данные и другие сведения в соответствии с принятой структурой кадра. Информационный кадр проходит по кольцу, при этом происходит следующее: 1) каждая станция, готовая к передаче, записывает значение своего приоритета в R, если ее приоритет выше уже записанного в R значения; 2) станция-получатель, распознав свой адрес, считывает данные и отмечает в

конце кадра (в бите «статус кадра») факт приема данных.

Совершив полный оборот по кольцу, кадр приходит к станции-отправителю, которая анализирует состояние кадра. Если передача не произошла, то делается повторная попытка передачи. Если произошла, то кадр преобразуется в маркер указанной выше структуры с  $T = 0$ . При этом также происходят действия:

$$P := R; R := 0;$$

где  $P$  и  $R$  — трехбитовые коды.

При следующем обороте маркер будет захвачен той станцией-претендентом, у которой на предыдущем обороте оказался наивысший приоритет (именно его значение записано в  $P$ ).

Сеть Token Ring рассчитана на меньшие предельные расстояния и число станций, чем сеть Ethernet, но лучше приспособлена к повышенным нагрузкам.

### *Сеть FDDI*

*Сеть FDDI* (Fiber Distributed Data Interface) относится к высокоскоростным сетям, имеет кольцевую топологию, использует ВОЛС и специфический вариант маркерного метода доступа.

В основном варианте сети применено двойное кольцо на ВОЛС. Обеспечивается информационная скорость 100 Мбит/с. Расстояние между крайними узлами до 200 км, между соседними станциями — не более 2 км. Максимальное число узлов 500. В ВОЛС применяются волны длиной 1300 нм.

Два кольца ВОЛС используются одновременно. Станции можно подключать к одному из колец или к обоим сразу (рисунок 10, а). Использование конкретным узлом обоих колец позволяет получить для этого узла суммарную пропускную способность 200 Мбит/с. Другое возможное использование второго кольца — обход с его помощью поврежденного участка путем объединения колец, как показано на рис. 2.6,б.

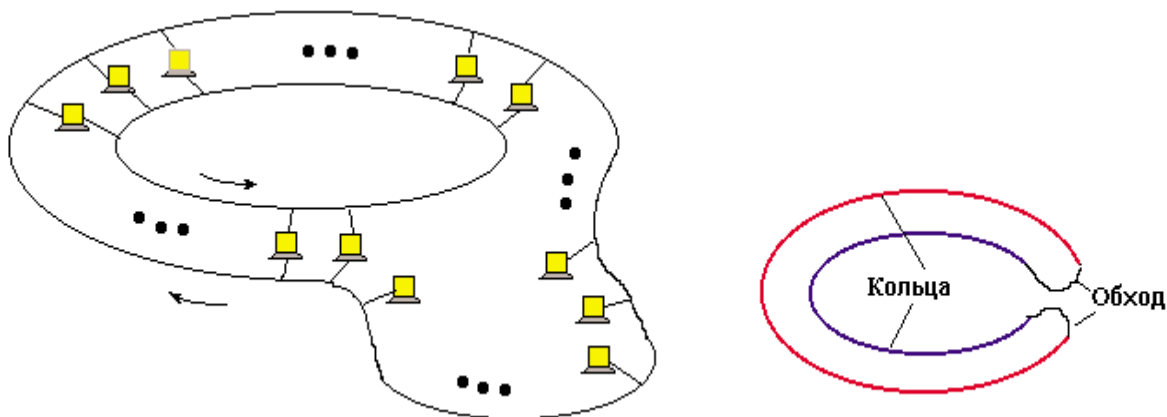


Рисунок 10 - Кольца ВОЛС в сети FDDI: а) включение узлов; б) обход поврежденного участка

В сети FDDI используются оригинальные код и метод доступа. Применяется код типа NRZ (без возвращения к нулю), в котором изменение полярности в очередном такте времени воспринимается как 1, отсутствие изменения полярности как 0. Чтобы код был самосинхронизирующимся, после каждых четырех битов передатчик вырабатывает синхронизирующий перепад.

Такое специальное манчестерское кодирование называют 4b/5b. Запись 4b/5b означает код, в котором для самосинхронизации при передаче четырех битов двоичного кода используется пять битов так, что не может быть более двух нулей подряд, или после четырех битов добавляется еще один обязательный перепад, что и используется в FDDI.

При использовании такого кода несколько усложняются блоки кодирования и декодирования, но при этом повышается скорость передачи по линии связи, так как почти вдвое уменьшается максимальная частота переключения по сравнению с манчестерским кодом.

В соответствии с методом FDDI по кольцу циркулирует пакет, состоящий из маркера и информационных кадров. Любая станция, готовая к передаче, распознав проходящий через нее пакет, вписывает свой кадр в конец пакета. Она же ликвидирует его после того, как кадр вернется к ней после полного оборота по кольцу и при условии, что он был воспринят получателем. Если обмен происходит без сбоев, то кадр, возвращающийся к станции-отправителю, оказывается в пакете уже первым, так как все предшествующие кадры должны быть ликвидированы раньше.

Сеть FDDI обычно используют как объединяющую в единую сеть многих отдельных подсетей ЛВС. Например, при организации информационной системы крупного предприятия целесообразно иметь ЛВС типа Ethernet или Token Ring в помещениях отдельных проектных подразделений, а связь между подразделениями осуществлять через сеть FDDI.



## ЛЕКЦИЯ 10

### Каналы передачи данных в корпоративных сетях

- Характеристики и типы каналов передачи данных.
- Радиоканалы.
- Цифровые каналы.
- Организация дуплексной связи.

#### *Характеристики и типы каналов передачи данных*

Применяемые в вычислительных сетях каналы передачи данных классифицируются по ряду признаков. Во-первых, по форме представления информации в виде электрических сигналов каналы подразделяют на цифровые и аналоговые. Во-вторых, по физической природе среды передачи данных различают каналы связи проводные (обычно медные), оптические (как правило, волоконно-оптические), беспроводные (инфракрасные и радиоканалы). В-третьих, по способу разделения среды между сообщениями выделяют упомянутые выше каналы с временным (TDM) и частотным (FDM) разделением.

Одной из основных характеристик канала является его пропускная способность (скорость передачи информации, т.е. информационная скорость), определяемая полосой пропускания канала и способом кодирования данных в виде электрических сигналов. Информационная скорость измеряется количеством битов информации, переданных в единицу времени. Наряду с информационной оперируют *бодовой (модуляционной) скоростью*, которая измеряется в бодах, т.е. числом изменений дискретного сигнала в единицу времени. Именно бодовая скорость определяется полосой пропускания линии. Если одно изменение значения дискретного сигнала соответствует нескольким битам, то информационная скорость превышает бодовую. Действительно, если на бодовом интервале (между соседними изменениями сигнала) передается  $N$  бит, то число градаций сигнала равно  $2^N$ . Например, при числе градаций 16 и скорости 1200 бод одному боду соответствует 4 бит/с и информационная скорость составляет 4800 бит/с. С ростом длины линии связи увеличивается затухание сигнала и, следовательно, уменьшаются полоса пропускания и информационная скорость.

Максимально возможная информационная скорость  $V$  связана с полосой пропускания  $F$  канала связи формулой Хартли-Шеннона (предполагается, что одно изменение значения сигнала приходится на  $\log_2 k$  бит, где  $k$  — число возможных дискретных значений сигнала):

$$V = 2F \log_2 k \text{ бит/с,}$$

так как  $V = \log_2 k / t$ , где  $t$  — длительность переходных процессов,

приблизительно равная  $3T_B$ , а  $T_B = 1 / (2\pi F)$ . Здесь  $k \leq 1+A$ ,  $A$  — отношение сигнал/помеха.

*Проводные линии связи* в вычислительных сетях представлены коаксиальными кабелями и витыми парами проводов.

Используются коаксиальные кабели: «толстый» диаметром 12,5 мм и «тонкий» диаметром 6,25 мм. «Толстый» кабель имеет меньшее затухание, лучшую помехозащищенность, что обеспечивает возможность работы на больших расстояниях, но он плохо гнется, что затрудняет прокладку соединений в помещениях, и дороже «тонкого».

Существуют экранированные (STP — Shielded Twist Pair) и неэкранированные (UTP — Unshielded Twist Pair) пары проводов. Экранированные пары сравнительно дороги. Чаще используются неэкранированные пары, имеющие несколько категорий (типов). Обычный телефонный кабель — пара категории 1. Пара категории 2 может использоваться в сетях с пропускной способностью до 4 Мбит/с. Витые пары имеют категории, начиная с третьей. Для сетей Ethernet (точнее, для ее варианта 10Base-T) разработана пара категории 3, а для сетей Token Ring — пара категории 4. Более совершенными являются неэкранированные витые пары категорий 5 и 6.

Пару категории 5 применяют при частотах до 100 МГц, в ней проводник представлен медными жилами диаметром 0,51 мм, навитыми по определенной технологии и заключенными в термостойкую изолирующую оболочку. В высокоскоростных ЛВС на UTP длины соединений обычно не превышают 100 м. Затухание в паре категории 5 на 100 МГц и при длине 100 м составляет около 24 дБ, при 10 МГц и 100 м — около 7 дБ.

Примерами пар категорий 6 и 7 могут служить кабели, выпускаемые фирмой 3Com, в них размещается по 4 пары проводов, каждая со своим цветом полиэтиленовой изоляции. В случае категории 6 оболочка кабеля имеет диаметр 5 мм, используются медные проводники диаметром 0,5 мм, затухание на 100 МГц около 22 дБ. В случае категории 7 каждая пара дополнительно заключена в экранирующую алюминиевую фольгу, диаметр оболочки увеличен до 8 мм, затухание на 100 МГц составляет около 20 дБ, на 600 МГц — 50 дБ.

Витые пары иногда называют скрученной линией в том смысле, что в двух проводах линии передаются одни и те же уровни сигнала (по отношению к «земле»), но разной полярности. При приеме воспринимается разность сигналов, называемая парафазным сигналом. Сифазные помехи при этом самокомпенсируются.

Оптические линии связи реализуются в виде ВОЛС. ВОЛС являются основой высокоскоростной передачи данных, особенно на большие расстояния. В ЛВС каналы передачи данных представлены в основном проводными (медными) линиями, поскольку неэкранированные витые пары дешевле ВОЛС и удобнее при прокладке кабельной сети. Но для реализации высокоскоростных магистральных каналов в корпоративных и

территориальных сетях ВОЛС уже находится вне конкуренции.

Конструкция ВОЛС — кварцевый сердечник диаметром 10 мкм, покрытый отражающей оболочкой с внешним диаметром 125...200 мкм. Типичные характеристики ВОЛС: работа на волнах 0,83...1,55 мкм, затухание 0,7 дБ/км, полоса частот — до 2 ГГц; ориентировочная цена — 4-5 долл. за 1 м. Предельные расстояния  $D$  для передачи данных по ВОЛС (без ретрансляции) зависят от длины волны излучения  $\lambda$ : при  $\lambda = 850$  нм имеем  $D = 5$  км, а при  $\lambda = 300$  нм имеем  $D = 50$  км, но аппаратурная реализация дороже.

Примером среды передачи данных между мейнфреймами, рабочими станциями, пулами периферийных устройств может служить среда Fiber Channel на ВОЛС, обеспечивающая скорости от 133 до 1062 Мбит/с на расстояниях до 10 км (для сравнения приведем данные по стандартному интерфейсу SCSI между рабочей станцией и дисководом — скорость 160 Мбит/с при расстояниях не более десятков метров). На базе ВОЛС реализованы технологии передачи данных SDH (SONET) со скоростями 155 и 622 Мбит/с, рассматриваемые далее.

К числу новых стандартов для высокоскоростных магистралей передачи данных относятся стандарт цифровой синхронной иерархии SDH (Synchronous Digital Hierarchy). В сетях SDH используют ВОЛС в качестве линий передачи данных. Стандарт устанавливает структуру фреймов, на которые разбивается поток передаваемых данных. Эта структура названа транспортным модулем. Рассмотрим транспортный модуль STM-1. В нем фрейм состоит из 9-ти строк и 270 колонок, каждая позиция содержит 1 байт. В фрейме выделены три зоны. Первая зона содержит теги для разделения фреймов, для коммутации и управления потоком в промежуточных узлах (регенераторах оптических сигналов, устанавливаемых при больших длинах сегментов линии). Данные для управления в концевых узлах находятся во второй зоне. Третья зона содержит передаваемую информацию.

Информация конкретного сообщения может занимать ту или иную часть фрейма, называемую контейнером. Чем больше длина контейнера, тем выше информационная скорость. Предусмотрено несколько типов контейнеров со скоростями 1,5; 6; 45 и 140 Мбит/с (по американскому стандарту) или 2; 6; 34 и 140 Мбит/с (по европейскому). Общая скорость передачи для STM-1 равна 155,52 Мбит/с.

Кроме STM-1, стандартом введены также модули STM-4 и STM-16 со скоростями 622 и 2488 Мбит/с соответственно.

### ***Радиоканалы***

В беспроводных радиоканалах передача информации осуществляется с помощью радиоволн. В информационных сетях используются диапазоны от сотен мегагерц до десятков гигагерц.

Для организации канала передачи данных в диапазонах дециметровых волн (902...928 МГц и 2,4...2,5 ГГц) требуется регистрация в Госсвязьнадзоре

(1997 г.). Работа в диапазоне 5,725...5,85 ГГц пока лицензирования не требует.

Чем выше рабочая частота, тем больше емкость (число каналов) системы связи, но тем меньше предельные расстояния, на которых возможна прямая передача между двумя пунктами без ретрансляторов. Первая из причин и порождает тенденцию к освоению новых более высокочастотных диапазонов.

Радиоканалы используются в качестве альтернативы кабельным системам в локальных сетях и при объединении сетей отдельных подразделений и предприятий в корпоративные сети. Радиоканалы являются необходимой составной частью также в спутниковых и радиорелейных системах связи, применяемых в территориальных сетях, в сотовых системах мобильной связи.

Радиосвязь используют в корпоративных и локальных сетях, если затруднена прокладка других каналов связи. Во многих случаях построения корпоративных сетей применение радиоканалов оказывается более дешевым решением по сравнению с другими вариантами.

*Радиоканал* либо выполняет роль моста между подсетями (двухточечное соединение), либо является общей средой передачи данных в ЛВС по методу МДКН/ОК, либо служит соединением между центральным и терминальными узлами в сети с централизованным управлением, либо соединяет спутник с наземными станциями в спутниковом канале связи.

Радиомосты используют для объединения между собой кабельных сегментов и отдельных ЛВС в пределах прямой видимости и организации магистральных каналов в опорных сетях. Они выполняют ретрансляцию и фильтрацию пакетов. При этом имеет место двухточечное соединение с использованием направленных антенн, дальность в пределах прямой видимости (обычно до 15...20 км с расположением антенн на крышах зданий). Мост имеет два адаптера: один для формирования сигналов в радиоканале, другой – в кабельной подсети.

В случае использования радиоканала в качестве общей среды передачи данных в ЛВС сеть называют RadioEthernet (стандарт IEEE 802/11), обычно ее применяют внутри зданий. В состав аппаратуры входят приемопередатчики и антенны. Связь осуществляется на частотах от одного до нескольких гигагерц. Расстояния между узлами — несколько десятков метров.

В соответствии со стандартом IEEE 802/11 возможны два способа передачи двоичной информации в ЛВС, их цель заключается в обеспечении защиты информации от нежелательного доступа.

Первый способ называют *методом прямой последовательности* (DSSS — Direct Sequence Spread Spectrum). В нем защита информации основана на избыточности — каждый бит данных представлен последовательностью из 11-ти элементов («чипов»). Эта последовательность создается с помощью алгоритма, известного участникам связи, и поэтому ее можно дешифровать при приеме. Сохранение высокой скорости обеспечивается расширением полосы пропускания (в DSSS по IEEE 802/11 информационная скорость может достигать до 6 Мбит/с, полоса пропускания составляет 22 МГц в диапазоне

частот 2,4 ГГц). Отметим, что избыточность повышает помехоустойчивость. Действительно, помехи обычно имеют более узкий спектр, чем 22 МГц, и могут исказить часть «чипов», но высока вероятность того, что по остальным «чипам» значение бита будет восстановлено. При этом не нужно стремиться к большим значениям отношения сигнал/помеха, сигнал становится шумоподобным, что и обуславливает, во-первых, дополнительную защиту от перехвата, во-вторых, не создает помех, мешающих работе другой радиоаппаратуры.

Второй способ — *метод частотных скачков* (FHSS — Frequency Hopping Spread Spectrum). Согласно этому методу, полоса пропускания по IEEE 802/11 делится на 79 поддиапазонов. Передатчик периодически (с шагом 20...400 мс) переключается на новый поддиапазон, причем алгоритм изменения частот известен только участникам связи и может изменяться, что и затрудняет несанкционированный доступ к данным.

Вариант использования радиоканалов для связи центрального и периферийного узлов отличается тем, что центральный пункт имеет ненаправленную антенну, а в терминальных пунктах при этом применяются направленные антенны. Дальность связи составляет также десятки метров, а вне помещений — сотни метров.

Спутниковые каналы являются частью магистральных каналов передачи данных. В них спутники могут находиться на геостационарных (высота 36 тыс. км) или низких орбитах. В случае геостационарных орбит заметны задержки на прохождение сигналов (к спутнику и обратно около 500 мс). Возможно покрытие поверхности всего земного шара с помощью четырех спутников. В низкоорбитальных системах обслуживание конкретного пользователя происходит попеременно разными спутниками. Чем ниже орбита, тем меньше площадь покрытия и, следовательно, требуется или больше наземных станций, или необходима межспутниковая связь, что, естественно, приводит к утяжелению спутника. Число спутников также значительно больше (обычно несколько десятков)

Поставкой оборудования для организации корпоративных и локальных беспроводных сетей занимается ряд фирм, в том числе известные фирмы Lucent Technologies, Aironet, Multipoint Network.

В оборудование беспроводных каналов передачи данных входят сетевые адаптеры и радиомодемы, поставляемые вместе с комнатными антеннами и драйверами. Они различаются способами обработки сигналов, характеризуются частотой передачи, пропускной способностью, дальностью связи.

Сетевой адаптер вставляют в свободный разъем шины компьютера. Например, адаптер WaveLAN (Lucent Technologies) подключают к шине ISA, он работает на частоте 915 МГц, пропускная способность 2 Мбит/с.

Радиомодем подключают к цифровому ООД через стандартный интерфейс.

Например, радиомодемы серии RAN (Multipoint Networks) могут

работать в дуплексном или полудуплексном режиме; со стороны порта данных — интерфейс RS-232C, RS-449 или V.35, скорости до 128 кбит/с; со стороны радиопорта — частоты 400...512 или 820...960 МГц, ширина радиоканала 25...200 кГц.

В вычислительных сетях САПР в основном используются *цифровые каналы передачи данных*.

Однако применяют и *аналоговые каналы*, поскольку таковыми являются телефонные сети, которые можно использовать в качестве магистральных каналов или абонентских линий.

### *Аналоговые каналы*

В телефонных каналах общего пользования полоса пропускания составляет 0,3...3,4 кГц (каналы с такой полосой пропускания называют каналами тональной частоты), что соответствует спектру человеческой речи.

Для передачи дискретной информации по каналам тональной частоты необходимы устройства преобразования сигналов, согласующие характеристики дискретных сигналов и аналоговых линий. Такое преобразование называют модуляцией при передаче и демодуляцией при приеме и осуществляют с помощью специальных устройств — *модемов*.

Модуляция осуществляется с помощью воплощения сигнала, выражающего передаваемое сообщение, в некотором процессе, называемом переносчиком и приспособленном к реализации в данной среде. Переносчик в системах связи представляет собой электромагнитные колебания  $U$  некоторой частоты, называемой несущей частотой:

$$U = U_m \sin(\omega t + \Psi),$$

где  $U_m$  — амплитуда,  $\omega$  — частота,  $\Psi$  — фаза колебаний несущей. Если сообщение переносится на амплитуду  $U_m$ , то модуляцию называют *амплитудной (АМ)*, если на частоту  $\omega$  — *частотной (ЧМ)*, и если на фазу  $\Psi$  — *фазовой (ФМ)*.

Для повышения информационной скорости применяют квадратурно-амплитудную модуляцию

(QAM — Quadrature Amplitude Modulation, ее также называют квадратурно-импульсной), которая основана на передаче одним элементом модулированного сигнала  $n$  бит информации, где  $n = 4...8$  (т.е. используются 16...256 дискретных значений амплитуды). Однако, чтобы правильно различать эти значения амплитуды, требуется малый уровень помех (отношение сигнал/помеха не менее 12 дБ при  $n = 4$ ). При меньших отношениях сигнал/помеха лучше применять фазовую модуляцию с четырьмя или восемью дискретными значениями фазы для представления 2 или 3 битов информации соответственно.

Современные высокоскоростные модемы построены в соответствии с протоколами V.32 или

V.34. В протоколе V.34 скорости составляют от 2,4 до 28,8 кбит/с с

шагом 2,4 кбит/с. Протокол предусматривает адаптацию передачи под конкретную обстановку при изменении несущей в пределах 1600...2000 Гц, а также автоматическое предварительное согласование способов модуляции в вызывающем и вызывном модемах. В протоколе V34.bis скорости могут достигать 33,6 кбит/с. В последнее время стали выпускаться модемы на 56 кбит/с по технологиям, названным x2 и V.90.

### ***Цифровые каналы***

Для передачи аналоговых сигналов по цифровым каналам связи применяют импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ или РСМ — Pulse Code Modulation). Этот вид модуляции сводится к измерению амплитуды аналогового сигнала в моменты времени, отстоящие друг от друга на  $dt$ , и к кодированию этих амплитуд цифровым кодом. Согласно *теореме Котельникова* величину  $dt$  определяют следующим образом: для неискаженной передачи должно быть не менее двух отсчетов на период колебаний, соответствующий высшей составляющей в частотном спектре сигнала. Требуемую пропускную способность определяют, исходя из условия обеспечения передачи голоса с частотным диапазоном до 4 кГц при кодировании восемью (или семью) битами. Отсюда получаем, что частота отсчетов (передачи байтов) равна 8 кГц, т.е. биты передаются с частотой 64 кГц (или 56 кГц при семибитовой кодировке).

В *цифровых каналах* для представления двоичной информации преимущественно используют самосинхронизирующийся *манчестерский код*. Пример манчестерского кода представлен на рисунок 11. Самосинхронизация избавляет от необходимости иметь дополнительную линию связи для передачи синхронизирующих импульсов. Самосинхронизация обеспечивается благодаря формированию синхроимпульсов из перепадов, имеющих в каждом такте манчестерского кода.

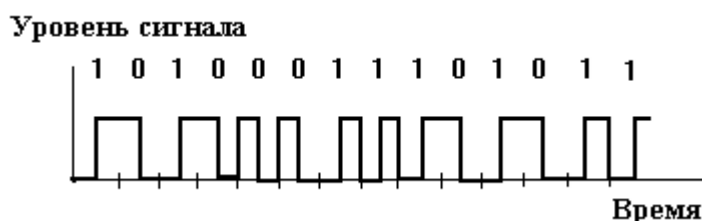


Рисунок 11 - Манчестерское кодирование

Различают несколько технологий связи, основанных на цифровых каналах.

В качестве магистральных каналов передачи данных в США и Японии применяют стандартную *многоканальную систему* T1 (иначе DS-1). Она включает в себя 24 цифровых канала, называемых DS-0 (Digital Signal-0). В каждом канале применена импульсно-кодovou модуляция с частотой следования отсчетов 8 кГц и квантованием сигналов по  $2^8 = 256$  уровням, что

обеспечивает скорость передачи 64 кбит/с на один канал или 1554 кбит/с на аппаратуру T1. В Европе широко распространена аппаратура E1 с 32 каналами по 64 кбит/с, т.е. с общей скоростью 2048 кбит/с. Применяются также каналы T3 (или DS-3), состоящие из 28 каналов T1 (45 Мбит/с) и E3 (34 Мбит/с) преимущественно в частных высокоскоростных сетях.

В канале T1 использовано временное мультиплексирование (TDM). Все 24 канала передают в мультиплексор по одному байту, образуя 192-битный кадр с добавлением одного бита синхронизации. Суперкадр составляют 24 кадра. В нем имеются контрольный код и синхронизирующая комбинация. Сборку информации из нескольких линий и ее размещение в магистрали T1 осуществляет мультиплексор. Канал DS-0 (один слот) соответствует одной из входных линий, т.е. реализуется коммутация каналов. Некоторые мультиплексоры позволяют маршрутизировать потоки данных, направляя их в другие мультиплексоры, связанные с другими каналами T1, хотя собственно каналы T1 называют некоммутируемыми.

При обычном мультиплексировании каждому соединению выделяется определенный слот (например, канал DS-0). Если же этот слот не используется из-за недогрузки канала по этому соединению, но по другим соединениям трафик значительный, то эффективность будет невысокой. Загружать свободные слоты или, другими словами, динамически перераспределять слоты можно, используя так называемые *статистические мультиплексоры* на основе микропроцессоров. В этом случае временно весь канал DS-1 или его часть отдается одному соединению с указанием адреса назначения.

В современных сетях важное значение имеет передача как данных, представляемых дискретными сигналами, так и аналоговой информации (например, голос и видеоизображения первоначально имеют аналоговую форму). Поэтому для многих применений современные сети должны быть *сетями интегрального обслуживания*. Наиболее перспективными сетями интегрального обслуживания являются сети с цифровыми каналами передачи данных, например, сети ISDN.

Сети ISDN могут быть коммутируемыми и некоммутируемыми. Различают обычные ISDN со скоростями от 56 кбит/с до 1,54 Мбит/с и широкополосные ISDN (Broadband ISDN, или B-ISDN) со скоростями 155... 2048 Мбит/с.

Применяют два варианта обычных сетей ISDN — базовый и специальный. В базовом варианте имеются два канала по 64 кбит/с (эти каналы называют B-каналами) и один служебный канал с 16 кбит/с (D-канал). В специальном варианте — 23 канала B по 64 кбит/с и один или два служебных канала D по 16 кбит/с. Каналы B можно использовать как для передачи закодированной голосовой информации (коммутация каналов), так и для передачи пакетов. Служебные каналы используются для сигнализации — передачи команд, в частности, для вызова соединения.

Очевидно, что для реализации технологий T1, T3, ISDN необходимо выбирать среду передачи данных с соответствующей полосой пропускания.



Схема ISDN показана на рисунке 12. Здесь S-соединение представляет собой четырехпроводную витую пару. Если оконечное оборудование не имеет интерфейса ISDN, то его подключают к S через специальный адаптер ТА. Устройство NT2 объединяет S-линии в одну T-шину, которая имеет два провода от передатчика и два — к приемнику. Устройство NT1 реализует схему эхо-компенсации (рисунок 13) и служит для интерфейса T-шины с обычной телефонной двухпроводной абонентской линией U.

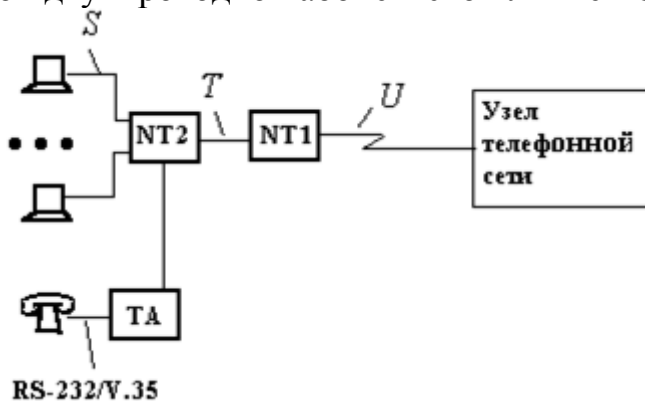


Рисунок 12 - Схема ISDN

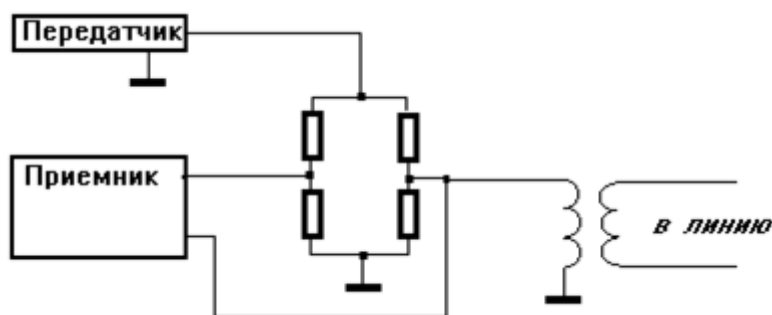


Рисунок 13 - Эхо-компенсация

Для подключения клиентов к узлам магистральной сети с применением на «последней миле» обычного телефонного кабеля наряду с каналами ISDN можно использовать *цифровые абонентские линии* xDSL. К их числу относятся HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Loop), SDSL (Single Pair Symmetrical Digital Subscriber Loop), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop). Например, в HDSL используют две пары проводов, амплитудно-фазовая модуляция без несущей, пропускная способность до 2 Мбит/с, расстояния до 7,5 км. Применяемые для кодирования устройства также называют модемами. Собственно ISDN можно рассматривать, как разновидность xDSL.

### **Организация дуплексной связи**

Для организации дуплексной связи, т.е. одновременной передачи информации по линии в обоих направлениях используют следующие способы: *четырёхпроводная линия связи* — одна пара проводов для прямой и другая — для обратной передачи, что, естественно, дорого;

*Частотное разделение* — прямая и обратная передачи ведутся на разных частотах, но при этом полоса для каждого направления сужается более чем вдвое по сравнению с полосой симплексной (однонаправленной) связи;

*Эхо-компенсация* — при установлении соединения с помощью посылки зондирующего сигнала определяются параметры (запаздывание и мощность) эха — отраженного собственного сигнала; в дальнейшем из принимаемого сигнала вычитается эхо собственного сигнала (см. рисунок 13).

## ЛЕКЦИЯ 11

### Стеки протоколов и типы сетей в автоматизированных системах

- Протокол TCP.
- Протокол IP.
- Адресация TCP/IP.
- Другие протоколы стека TCP/IP.
- Протоколы SPX/IPX.
- Сети X.25 и Frame Relay.
- Сети АТМ.
- Промышленные сети.
- Сетевое коммутационное оборудование.

#### *Протокол TCP*

Протоколы, используемые совместно в сетях определенного типа, объединяются в совокупности, называемые *стеками протоколов*. Широко известны стеки протоколов TCP/IP, SPX/IPX, X.25, Frame Relay (FR), АТМ, семиуровневые протоколы ЭМВОС.

Наибольшее распространение получили протоколы TCP/IP в связи с их использованием в качестве основных в сети Internet. TCP/IP — пятиуровневые протоколы, но базовыми среди них, давшими название всей совокупности, являются протокол транспортного уровня TCP (Transmission Control Protocol) и протокол сетевого уровня IP (Internet Protocol). Эти протоколы поддерживаются такими операционными системами, как Unix и Windows-95/NT.

TCP — *дуплексный транспортный протокол* с установлением соединения. Под установлением соединения подразумевают установление виртуального канала в сети путем обмена запросом и согласием на соединение между отправителем и получателем сообщения. К другим функциям TCP относятся упаковка и распаковка пакетов на концах транспортного соединения; управление потоком — получатель одновременно с подтверждением правильности передачи сообщает размер окна, т.е. число пакетов, которые получатель готов принять или, что практически то же самое, число пакетов, которые отправитель может послать в сеть, не дожидаясь получения подтверждения об их правильном приеме; помещение срочных данных между специальными указателями, т.е. возможность управлять скоростью передачи.

В программном обеспечении протокола TCP имеется программа-агент, которая постоянно готова к работе и при приходе запроса генерирует свою копию для обслуживания создаваемого соединения, а сама программа-родитель ждет новых вызовов.

В схеме установления соединения в сетях клиент-сервер предусмотрена посылка клиентом запроса на соединение (команда ACTIVE\_OPEN) с указанием адреса сервера, тайм-аута (времени жизни), уровня секретности. Можно сразу же

поместить в запрос данные (тогда используется команда ACTIVE\_OPEN\_WITH\_DATA). Если сервер готов к связи, он отвечает командой согласия (OPEN\_RECEIVED), в которой назначает номер соединения. Далее командой SEND посылаются данные, а командой DELIVER подтверждается их получение. Разъединение выполняется обменом командами CLOSE и CLOSING.

Следует отметить, что каждый байт сообщения получает уникальный порядковый номер. Отсюда вытекает одно из ограничений на максимально допустимую в протоколе TCP/IP пропускную способность. Это ограничение составляет 232 байта / время жизни дейтаграммы, так как для конкретного соединения в сети не должно одновременно существовать более одного байта с одним и тем же номером.

В протоколе TCP повторная передача пакета происходит, если в течение оговоренного интервала времени  $T_m$  (тайм-аута) от получателя не пришло положительное подтверждение правильного приема.

Попытки повторных передач пакета не могут продолжаться бесконечно, и при превышении интервала времени, устанавливаемого в пределах 0,5...2,0 мин, соединение разрывается.

Размер окна регулируют следующим образом. Если сразу же после установления соединения выбрать завышенный размер окна, что означает разрешение посылки пакетов с высокой интенсивностью, то велика вероятность появления перегрузки определенных участков сети. Поэтому используют алгоритм так называемого медленного старта. Сначала посылается один пакет и после подтверждения его приема окно увеличивается на единицу, т.е. посылается два пакета. Если вновь приходит положительное подтверждение (потерь пакетов нет), то посылается уже четыре пакета и т.д. Скорость растет, пока пакеты проходят успешно. При потере пакета или при приходе от протокола управления сигнала о перегрузке размер окна уменьшается и далее возобновляется процедура линейного роста размера окна. Медленный старт снижает информационную скорость, особенно при пересылке коротких сообщений, поэтому стараются применять те или иные приемы его улучшения.

## ***Протокол IP***

*Сетевой протокол IP* — дейтаграммный сетевой протокол, т.е. протокол без установления соединения.

В *дейтаграммных протоколах* сообщение разбивается на дейтаграммы. Дейтаграмма — это пакет, передаваемый независимо от других частей одного и того же сообщения в вычислительных сетях с коммутацией пакетов. Дейтаграммы одного и того же сообщения могут передаваться в сети по разным маршрутам и поступать к адресату в произвольной последовательности, что требует дополнительных операций по сборке сообщения из дейтаграмм в узле-получателе. На внутренних участках маршрута контроль правильности передачи не предусмотрен и надежность связи обеспечивается лишь контролем в оконечном узле.

К функциям протокола IP относятся фрагментация и сборка пакетов при прохождении через промежуточные сети, имеющие другие протоколы; маршрутизация, т.е. определение пути прохождения пакета по разветвленной сети; проверка контрольного кода заголовка пакета (правильность передачи всего пакета проверяется на транспортном уровне, т.е. с помощью ТСП, в конечном узле); управление потоком — сброс дейтаграмм при превышении заданного времени жизни.

От версии протокола зависит структура заголовка. Сделано это для возможности последующего внесения изменений. Например, предполагается вместо четырехбайтовых адресов установить в Internet в будущем шестибайтовые адреса.

В поле «Тип сервиса» задается приоритет (если приоритетность используется), можно указать одно из следующих требований: минимальная задержка, высокая надежность, низкая цена передачи данных.

Всего в сети одновременно может быть  $2^{16} = 65$  тысяч дейтаграмм сообщения с разными идентификаторами, т.е. за отрезок времени, равный времени жизни дейтаграммы, может быть передано не более 216 дейтаграмм. Это один из факторов, ограничивающих пропускную способность сетей с протоколом IP. Действительно, при времени жизни 120 с имеем предельную скорость  $216 / 120 = 546$  дейтаграмм в секунду, что при размере дейтаграммы до 65 тысяч байт дает ограничение скорости приблизительно в 300 Мбит/с (такое же значение одного из ограничений предельной скорости получено выше и для протокола ТСП).

Время жизни может измеряться как в единицах времени  $T$ , так и в хопах  $P$  (числом пройденных маршрутизаторов). В первом случае контроль ведется по записанному в заголовке значению  $T$ , которое уменьшается на единицу каждую секунду. Во втором случае каждый маршрутизатор уменьшает число  $P$ , записанное в поле «Время жизни», на единицу. При  $T = 0$  или при  $P = 0$  дейтаграмма сбрасывается.

Поле «Тип протокола» определяет структуру данных в дейтаграмме. Примерами протоколов могут служить UDP, SNA, IGP и т.п.

Поле «Опции» в настоящее время рассматривается как резервное.

### *Адресация ТСП/IP*

В ТСП/IP различают два типа адресов. На канальном уровне используют адреса, называемые *физическими*. Это шестибайтовые адреса сетевых плат, присваиваемые изготовителем контроллеров (как уже отмечалось, каждый изготовитель вместе с лицензией на изготовление получает уникальный диапазон адресов). На сетевом уровне используют сетевые адреса, иначе называемые *виртуальными*, или *логическими*.

Различают понятия сетевых адреса и имени, имеющих цифровое и буквенное выражения соответственно.

Сетевой адрес называют IP-адресом. Это четырехбайтовый код, состоящий из двух частей: адреса сети и адреса узла (заметим, что узел, имеющий IP-адрес, называют хостом). Имя характеризует пользователя. Его составляют в соответствии с доменной системой имен. Соответствие между IP-адресом и IP-именем хоста устанавливается специальной *службой имен*. В Internet это DNS (Domain Name Service), в семиуровневой модели ISO — стандарт X.500.

IP-имя, называемое также *доменным именем*, — удобное для человека название узла или сети. Имя отражает иерархическое построение глобальных сетей и потому состоит из нескольких частей (аналогично обычным почтовым адресам). Корень иерархии обозначает либо страну, либо отрасль знаний, например: ru — Россия, us — США, de — Германия, uk — Великобритания, edu — наука и образование, com — коммерческие организации, org — некоммерческие организации, gov — правительственные организации, mil — военные ведомства, net — служба поддержки Internet и т.д. Корень занимает в IP-имени правую позицию, левее записываются локальные части адреса и, наконец, перед символом @ указывается имя почтового ящика пользователя. Так, запись username@wwcdl.bmstu.ru расшифровывается следующим образом: пользователь username имеет почтовый ящик в сервере wwcdl организации bmstu в стране ru. Уже к 1998 г. число используемых доменных имен в сети Internet превысило один миллион.

IP-адрес — 32-битовое слово, записываемое в виде четырех частей (побайтно), разделенных точками. Каждые подсеть и узел в подсети получают свои номера, причем для сети (подсети) можно использовать от одного до трех старших байтов, а оставшиеся байты — для номера узла. Какая часть IP-адреса относится к сети, определяется ее маской, выделяющей соответствующие биты в IP-адресе. Например, для некоторой сети маска может быть 255.0.0.0, а для ее подсети — 255.255.0.0 и т.д. Тем самым описывается иерархия сетей.

Номера при включении нового хоста выдает организация-провайдер, предоставляющая телекоммуникационные услуги. Провайдер, в частности, обеспечивает включение IP-адреса и соответствующего ему IP-имени в сервер службы адресов DNS. Это означает запись данных о хосте в DIB (Directory Information Base) локального узла DNS.

При маршрутизации пользователь, отправляющий сообщение, задает IP-имя получателя. Поскольку маршрутизация в сети осуществляется по IP-адресам, то с помощью серверов DNS осуществляется перевод указанного IP-имени в IP-адрес.

В локальной сети, где используются шестибайтовые адреса, называемые MAC-адресами, требуется преобразование IP-имен в MAC-адреса. Это преобразование выполняет маршрутизатор, связывающий локальную сеть с территориальной, в соответствии с специальным протоколом ARP, имеющимся в стеке TCP/IP. Для этого в маршрутизаторе создается таблица соответствия IP-имен и MAC-адресов данной сети.

Маршрутизация в Internet организована по иерархическому принципу. Имеются уровни ЛВС и корпоративных сетей; маршрутных доменов, в каждом из которых используются единые протоколы и алгоритмы маршрутизации; административных доменов, каждый из которых соответствует некоторой ассоциации и имеет единое управляющее начало. В маршрутных доменах имеются внешние маршрутизаторы для связи с другими маршрутными или административными доменами. Обращение из некоторого узла к Internet (например, из wwwcdl.bmstu.ru по адресу http://www.eevl.ac.uk) происходит к местному серверу (bmstu), и если там сведений об адресе назначения нет, то происходит переход к серверу следующего, более высокого уровня (ru) и далее по иерархии вниз до получения IP-адреса хоста назначения. В местном DNS-сервере могут быть сведения об IP-адресах хостов из удаленных доменов, если к ним происходят достаточно частые обращения из данного домена.

### *Другие протоколы стека TCP/IP*

В стек протоколов TCP/IP входит ряд других протоколов. Например, на транспортном уровне это *протокол* UDP (User Datagram Protocol) — транспортный протокол без установления соединения, он значительно проще TCP, но его используют чаще всего для сообщений, уместяющихся в один пакет. После оформления UDP-пакета он передается с помощью средств IP к адресату, который по заголовку IP-пакета определяет тип протокола и передает пакет не агенту TCP, а агенту UDP. Агент определяет номер порта и ставит пакет в очередь к этому порту. В UDP служебная часть дейтаграммы короче, чем в TCP (8 байт вместо 20), не требуется предварительного установления соединения или подтверждения правильности передачи, как это делается в TCP, что и обеспечивает большую скорость за счет снижения надежности доставки.

Протоколы более высоких уровней, чем TCP, в сетях TCP/IP называют *прикладными* протоколами. В частности, к ним относят следующие протоколы:

- SMTP (Simple Mail Transport Protocol) — почтовый протокол, который по классификации ЭМВОС наиболее близок к прикладному уровню;
- FTP (File Transfer Protocol) — протокол с функциями представительного по ЭМВОС уровня;
- Telnet — протокол с функциями сеансового по ЭМВОС уровня.

На нижних уровнях в TCP/IP используются протоколы IEEE 802/X или X.25.

Для управления сетью в стек TCP/IP включены специальные *протоколы управления*.

Среди протоколов управления различают протоколы, реализующие управляющие функции сетевого уровня, и протоколы мониторинга за состоянием сети, относящиеся к более высоким уровням. В сетях TCP/IP роль

первых из них выполняет протокол ICMP (Internet Control Message Protocol), роль вторых — протокол SNMP (Simple Network Management Protocol).

Основные функции ICMP:

- оповещение отправителя с чрезмерным трафиком о необходимости уменьшить интенсивность посылки пакетов; при перегрузке адресат (или промежуточный узел) посылает ICMP-пакеты, указывающие о необходимости сокращения интенсивности входных потоков;
- передача откликов (квитанций) на успешно переданные пакеты;
- контроль времени жизни T дейтаграмм и их ликвидация при превышении T или по причине искажения данных в заголовке;
- оповещение отправителя о недостижимости адресата; отправление ICMP-пакета с сообщением о невозможности достичь адресата осуществляет маршрутизатор;
- формирование и посылка временных меток (измерение задержки) для контроля Tv — времени доставки пакетов, что нужно для «оконного» управления. Например, время доставки Tv определяется следующим образом. Отправитель формирует ICMP-запрос с временной меткой и отправляет пакет. Получатель меняет адреса местами и отправляет пакет обратно. Отправитель сравнивает метку с текущим временем и тем самым определяет Tv.

ICMP-пакеты вкладываются в IP-дейтаграммы при доставке.

Основные функции протоколов мониторинга заключаются в сборе информации о состоянии сети, предоставлении этой информации нужным лицам путем посылки ее на соответствующие узлы, возможном автоматическом принятии необходимых управляющих мер.

Собственно собираемая информация о состоянии сети хранится в базе данных под названием MIB (Management Information Base). Примеры данных в MIB: статистика по числу пакетов и байтов, отправленных или полученных правильно или с ошибками, длины очередей, максимальное число соединений и др.

Протокол SNMP относится к прикладному уровню в стеке протоколов TCP/IP. Он работает по системе менеджер-агент. Менеджер (серверная программа SNMP) посылает запросы агентам, агенты (т.е. программы SNMP объектов управления) устанавливаются в контролируемых узлах, они собирают информацию (например, о загрузке, очередях, временах совершения событий) и передают ее серверу для принятия нужных мер. В общем случае агентам можно поручить и обработку событий, и автоматическое реагирование на них. Для этого в агентах имеются триггеры, фиксирующие наступление событий, и средства их обработки. Команды SNMP могут запрашивать значения объектов MIB, посылать ответы, менять значения параметров.

Чтобы послать команду SNMP, используют транспортный протокол UDP.

Одной из проблем управления по SNMP является защита агентов и менеджеров от ложных команд и ответов, которые могут дезорганизовать



работу сети. Используется шифрование сообщений, но это снижает скорость реакции сети на происходящие события.

Расширением SNMP являются протоколы RMON (Remote Monitoring) для сетей Ethernet и Token Ring и RMON2 для сетевого уровня. Преимущество RMON заключается в меньшем трафике, так как здесь агенты более самостоятельны и сами выполняют часть необходимых управляющих воздействий на состояние контролируемых ими узлов.

На базе протокола SNMP разработан ряд мощных средств управления, примерами которых могут служить продукт ManageWISE фирмы Novell или система UnicenterTNG фирмы Computer Associates. С их помощью администратор сети может выполнять следующие действия: 1) строить 2D изображение топологии сети, причем на разных иерархических уровнях, перемещаясь от региональных масштабов до подсетей ЛВС (при интерактивной работе); 2) разделять сеть на домены управления по функциональным, географическим или другим принципам с установлением своей политики управления в каждом домене; 3) разрабатывать нестандартные агенты с помощью имеющихся инструментальных средств.

Дальнейшее развитие подобных систем может идти в направлении связи сетевых ресурсов с проектными или бизнес-процедурами и сетевых событий с событиями в процессе проектирования или управления предприятиями. Тогда система управления сетью станет комплексной системой управления процессами проектирования и управления предприятием.

Рассмотрим другие стеки протоколов.

### ***Протоколы SPX/IPX***

В сетях Netware фирмы Novell используются протоколы SPX (Sequence Packet Exchange) и IPX (Internet Packet Exchange) для транспортного и сетевого уровней соответственно.

Адрес получателя в пакете IPX состоит из номера сети (фактически номера сервера), адреса узла (это имя сетевого адаптера) и имени гнезда (прикладной программы). Пакет имеет заголовок в 30 байт и блок данных длиной до 546 байт. В пакете SPX заголовок включает 42 байт, т.е. блок данных не более 534 байт.

Установление виртуального соединения в SPX (создание сессии) заключается в посылке клиентом запроса connect, возможная реакция сервера — connected (успех) или disconnected (отказ). Запрос на разъединение возможен как от сервера, так и от клиента.

После установления соединения передача ведется по дейтаграммному протоколу IPX.

## *Сети X.25 и Frame Relay*

*Сети X.25*, работающие по одноименному стеку протоколов, предложенному международным телекоммуникационным союзом ИТУ (International Telecommunication Union), относятся к первому поколению сетей коммутации пакетов. Протоколы X.25 разработаны еще в 1976 г. В свое время они получили широкое распространение, а в России их популярность остается значительной и в 90-е гг., поскольку эти сети хорошо приспособлены к работе на телефонных каналах невысокого качества, составляющих в России значительную долю каналов связи. С помощью сетей X.25 удобно соединять локальные сети в территориальную сеть, устанавливая между ними мосты X.25.

Стандарт X.25 относится к трем нижним уровням ЭМВОС, т.е. включает протоколы физического, канального и сетевого уровней. На сетевом уровне используется коммутация пакетов.

Характеристики сети:

- пакет содержит адресную, управляющую, информационную и контрольную части, т.е. в его заголовке имеются флаг, адреса отправителя и получателя, тип кадра (служебный или информационный), номер кадра (используется для правильной сборки сообщения из пакетов);

- на канальном уровне применено оконное управление, размер окна задает число кадров, которые можно передать до получения подтверждения (это число равно 8 или 128);

- передача данных по виртуальным (логическим) каналам, это относится к сетям с установлением соединения;

- узлы на маршруте, обнаружив ошибку, ликвидируют ошибочный пакет и запрашивает повторную передачу пакета.

В сетевом протоколе X.25 значительное внимание уделено контролю ошибок (в отличие, например, от протокола IP, в котором обеспечение надежности передается на транспортный уровень). Эта особенность приводит к уменьшению скорости передачи, т.е. сети X.25 низкоскоростные, но при этом их можно реализовать на каналах связи с невысокой помехоустойчивостью. Контроль ошибок производится при инкапсуляции и восстановлении пакетов (во всех промежуточных узлах), а не только в оконечном узле.

При использовании на физическом уровне телефонных каналов для подключения к сети достаточно иметь компьютер и модем. Подключение осуществляет провайдер (провайдерами для X.25 являются, например, владельцы ресурсов сетей Sprint, Infotel, Роспак и др.)

Типичная структура сети X.25 показана на рисунке 14.



Рисунок 14 - Сеть X.25

Типичная АКД в X.25 — синхронный модем с дуплексным бит-ориентированным протоколом. Скорости от 9,6 до 64 кбит/с. Протокол физического уровня для связи с цифровыми каналами передачи данных - X.21, а с аналоговыми — X.21bis.

В сетях пакетной коммутации Frame Relay (FR) в отличие от сетей X.25 обеспечивается большая скорость передачи данных за счет исключения контроля ошибок в промежуточных узлах, так как контроль, адресация, инкапсуляция и восстановление выполняются в конечных пунктах, т.е. на транспортном уровне. В промежуточных узлах ошибочные пакеты могут только отбрасываться, а запрос на повторную передачу происходит от конечного узла средствами уровня, выше сетевого. Но для реализации FR нужны помехоустойчивые каналы передачи данных.

Другая особенность FR — пункты доступа фиксируются при настройке порта подключения к сети. Поэтому наиболее подходящая сфера применения FR — объединение совокупности ЛВС, находящихся на значительном расстоянии друг от друга.

В сетях FR сигнализация о перегрузках осуществляется вставкой соответствующих битов в заголовок пакетов, проходящих по перегруженному маршруту, управление потоками предусматривает динамическое распределение полосы пропускания между соединениями. Поэтому возможна, в отличие от сетей X.25, не только передача данных, но и передача оцифрованного голоса (так как для передачи голоса обычно требуется режим реального времени). По этой же причине FR лучше приспособлены для передачи неравномерного трафика, характерного для связей между ЛВС.

Сети FR также получают широкое распространение в России по мере развития помехоустойчивых каналов связи, так как облегчен переход к ним от сетей X.25.

Заметим, что радикальное повышение скоростей передачи интегрированной информации связывают с внедрением сетей АТМ.

## Сети АТМ

Технология АТМ (Asynchronous Transfer Mode), реализованная в сетях АТМ, относится к перспективным технологиям, обеспечивающим высокие скорости передачи разнородной информации (данных, речевых и видеосигналов) на значительные расстояния. Действительно, передача голосовой и видеоинформации обычно требуется в режиме реального времени, видеоинформация характеризуется большими объемами и, следовательно, задержки должны быть только малыми (так, для голосовой связи — около 6 с).

Технология АТМ представляет собой быструю коммутацию коротких пакетов фиксированной длины (53 байт), называемых *стеками*. В силу этой причины и саму технологию АТМ иногда называют коммутацией ячеек.

Сети АТМ относят к сетям с установлением соединения. Соединения могут быть постоянными и динамическими. Первые устанавливаются и разрываются администратором сети, их действие продолжительно, для каждого нового обмена данными между абонентами постоянного соединения не нужно тратить время на его установление. Вторые устанавливаются и ликвидируются автоматически для каждого нового сеанса связи.

Каждое соединение получает свой идентификатор, который указывается в заголовке ячеек. При установлении соединения каждому коммутатору на выбранном пути следования данных передается таблица соответствия идентификаторов и портов коммутаторов. Коммутатор, распознав идентификатор, направляет ячейку в нужный порт. Непосредственное указание в заголовке адресов получателя и отправителя не требуется, заголовок короткий — всего 5 байтов.

Высокие скорости в АТМ обеспечиваются рядом технических решений.

Во-первых, большое число каналов с временным мультиплексированием (ТДМ) можно использовать для параллельной передачи частей одного и того же «объемного» сообщения (*статистическое мультиплексирование*). При этом цикл синхронизации состоит из отдельных участков, длины участка и ячейки совпадают. Под конкретное сообщение можно выделить  $N$  интервалов, совокупность которых называют виртуальным каналом. Скорость передачи можно регулировать, изменяя  $N$ . Если сеть АТМ оказывается перегруженной, то во избежание потери информации возможна буферизация данных для выравнивания загрузки каналов. Регулирование загрузки (управление потоком) осуществляется периодическим включением (обычно через 32 кадра) служебной РМ-ячейки в информационный поток. В эту ячейку промежуточные коммутаторы и конечный узел могут вставлять значения управляющих битов, сигнализирующие о перегрузке или недогрузке канала. РМ-ячейка от конечного узла передается в обратном направлении источнику сообщения, который может соответственно изменить режим передачи. В частности, применяется режим занятия всех свободных ресурсов

при перегрузке. Таким образом, происходит динамическое перераспределение нагрузки.

Во-вторых, отрицательные квитанции при искажениях собственно сообщений (но не заголовков) возможны только от конечного пункта. Это исключает потери времени в промежуточных пунктах на ожидание подтверждений. Такой способ иногда называют *коммутацией кадров* (в отличие от коммутации пакетов). Контрольный код (четырёхбайтный циклический) для информационной части сообщения имеется только в конце последнего пакета сообщения.

В-третьих, упрощена маршрутизация. Собственно установление соединения выполняется аналогично этой процедуре в ТСП/IP. Однако далее номер рассчитанного маршрута помещается в заголовок каждого пакета, и для них не нужно заново определять маршрут по таблицам маршрутизаторов при прохождении через сеть. Такую передачу называют *маршрутизацией от источника*. Другими словами, осуществляется передача с установлением соединения (в отличие, например, от IP). При этом клиент направляет серверу запрос в виде специального управляющего кадра. Кадр проходит через промежуточные маршрутизаторы и (или) коммутаторы, в которых соединению (каналу) присваивается номер VCI (идентификатор) маршрута. Если передача адресована нескольким узлам, то соответствующий VCI в коммутаторах присваивается нескольким каналам.

В-четвертых, *фиксированная длина* пакетов (кадров) упрощает алгоритмы управления и буферизации данных, исключает необходимость инкапсуляции или конвертирования пакетов при смене форматов в промежуточных сетях (если они соответствуют формату ячейки АТМ).

В технологии АТМ введены три уровня (рисунок 15). Адаптационный уровень (AAL) аналогичен транспортному уровню в ЭМВОС, на нем происходит разделение сообщения на 48-байтные ячейки, преобразование битовых входных потоков в один поток с соблюдением пропорций между числом ячеек для данных, голосовой и видеоинформации, определение вида сервиса. При этом должна поддерживаться скорость передачи данных, необходимая для обеспечения соответствующего сервиса. На следующем уровне, называемом АТМ, к каждой ячейке добавляется пятибайтовый заголовок с маршрутной информацией. Третий уровень — физический (P — physical) — служит для преобразования данных в электрические или оптические сигналы.

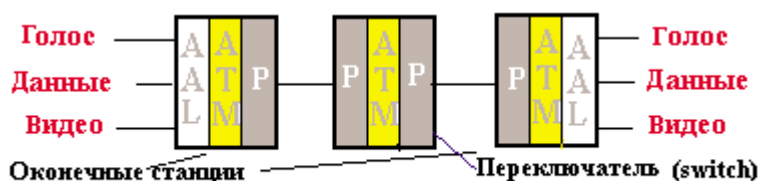


Рисунок 15 - Уровни протоколов в технологии АТМ

Средой для АТМ обычно служит среда В-ISDN, реализуемая на ВОЛС, витой паре или коаксиальном кабеле. Типично использование технологии цифровой синхронной иерархии SDH на ВОЛС. При использовании магистральной сети SDH для передачи информации по технологиям АТМ или FR сети АТМ и FR называют *наложенными вторичными сетями*. Доступ к транспортной сети осуществляется через специальные мультиплексоры.

Каналы АТМ со скоростями 51, 155, 622 и 2400 Мбит/с называют каналами OC-1, OC-3, OC-12 и OC-48 соответственно. К сожалению, в распространенных протоколах, таких, как TCP/IP или X.25, пакеты имеют переменную длину, что вызывает трудности совмещения программно-аппаратных средств распространенных технологий и АТМ, в связи с чем замедляется внедрение АТМ.

В настоящее время распространены также промежуточные технологии. Таковой прежде всего является технология *ретрансляции кадров* (FR), в которой применена коммутация пакетов длиной 4 Кбита с установлением соединения.

Проблемы совмещения технологий АТМ и существующих сетей решаются организацией АТМ Forum и рядом промышленных фирм. Разрабатываются коммутаторы и концентраторы, обеспечивающие совместную работу АТМ-магистралей, сетей, работающих по протоколам TCP/IP, и локальных сетей, таких, как Ethernet, Fast Ethernet, FDDI. В частности, разработаны спецификации IP-over-ATM и более современные МРОА (Multi-Protocol-Over-ATM), а также реализующие их средства для передачи IP-дейтаграмм и пакетов, сформированных по другим протоколам, через АТМ-сети.

При реализации TCP/IP поверх АТМ протоколов необходимо сохранить высокую скорость АТМ сети. Однако этому препятствуют возможные потери при передаче некоторых 53-байтных ячеек, на которые разбивается TCP-сегмент. Такая потеря вызывает необходимость повторной передачи всех ячеек сегмента, поскольку в АТМ контроль правильности передачи ведется по отношению ко всему сообщению (в данном случае — сегменту). Существенно сократить число повторно передаваемых ячеек позволяют специальные алгоритмы.

### ***Промышленные сети***

В интегрированных системах проектирования и управления на уровнях цеховом и ниже используются специальные вычислительные сети АСУТП, называемые *промышленными* (или Fieldbus). В число узлов сети входят компьютеры, выполняющие функции числового уп-авления (NC) технологическим оборудованием и SCADA. Обычными для промышленных сетей являются предельные расстояния между узлами (датчиками, исполнительными устройствами и контроллерами) в сотни метров, размеры сообщений — до одного килобайта (в сжатой форме). Опрос датчиков

периодический. Важное требование к промышленной сети — обеспечение работы в реальном масштабе времени, поэтому для АСУТП сети типа Ethernet не подходят, поскольку в них не гарантируется ограничение задержек сверху.

### *Сетевое коммутационное оборудование*

Узлы в средах передачи данных, выполняющие функции связи между частями сложной сети (internetworking), составляют *сетевое (коммутационное) оборудование*. В сетевое оборудование входят повторители, мосты, концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы, шлюзы, модемы и др.

*Повторитель (repeater)* — блок взаимодействия, служащий для регенерации электрических сигналов, передаваемых между двумя сегментами ЛВС. Повторители используются в случае, если реализация ЛВС на одном сегменте кабеля (отрезке, моноканале) не допускается из-за ограничений на расстояние или на число узлов, причем при условии, что в соседних сегментах используются один и тот же метод доступа и одни и те же протоколы. Трафик в сегментах, соединенных повторителем, — общий. Повторитель может быть многопортовым. Сигнал, пришедший на один из портов, повторяется на всех остальных портах.

*Мост (bridge)* — блок взаимодействия, служащий для соединения разных подсетей, которые могут иметь неодинаковые каналные протоколы.

При малых расстояниях между подсетями связь возможна через серверы подсетей, в которых размещаются интерфейсные платы, называемые внутренними мостами, и соответствующее сетевое программное обеспечение. Возможно применение внешних мостов — специально выделяемых узлов для целей сопряжения по одному в каждой из соединяемых подсетей. Внешние мосты обходятся дороже, но обеспечивают лучшие эксплуатационные характеристики. Важная функция мостов — ограничение трафика, так как локальный трафик одной подсети замыкается в ней, не проходя в другую подсеть.

Обычно мост имеет два порта, хотя существуют и многопортовые мосты. Каждый порт может оказаться входным или выходным. Управление передачей пакетов выполняется с помощью маршрутной таблицы моста, в которой строки содержат соответствующие друг другу значения адреса узла и номера порта моста. Если пакет пришел на порт А и по таблице адрес относится к тому же порту А, то пакет остается в данной ЛВС, иначе передается на порт В, который найден по таблице. Первоначальное заполнение таблицы происходит по адресам источников пакетов — в строку заносятся адрес отправителя и номер входного порта. Таблицы могут изменять во времени свое содержимое. Если некоторые адреса по истечении длительного времени ни разу не активировались, то строки с такими адресами удаляются, их восстановление или занесение новых адресов выполняется по процедуре первоначального заполнения.

На рисунке 16 представлены возможные варианты мостовых соединений.

Вариант 2 обеспечивает большую пропускную способность по сравнению с вариантом 1. Вариант 3 близок к варианту 2 по пропускной способности, он дороже, но именно его необходимо применять, если расстояния между подсетями довольно большие. Вариант 4 используют для увеличения скорости при большом трафике. Наконец, вариант 5 предназначен для случаев расстояний в несколько километров и более.

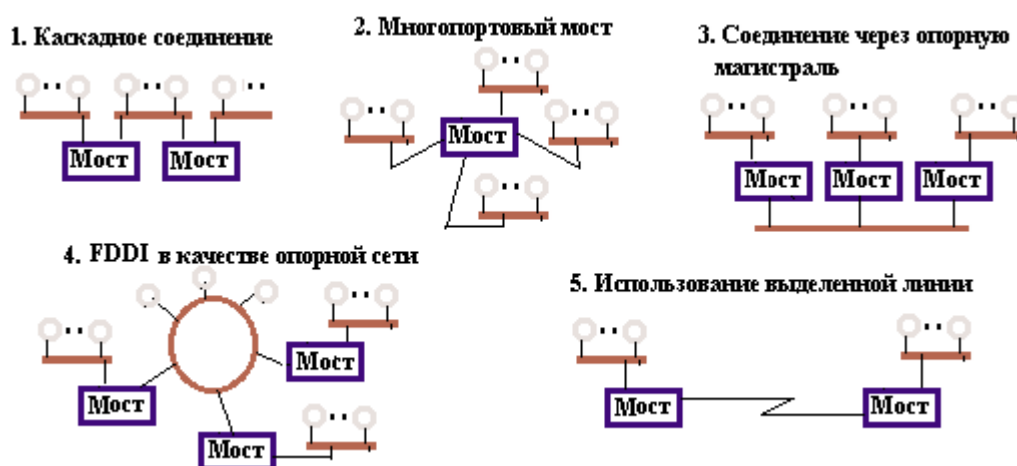


Рисунок 16 - Варианты мостовых соединений

Корпоративную сеть, состоящую из подсетей, связанных мостами, можно назвать автономной системой (AS — Autonomous System). Связь одной AS с другими осуществляется через маршрутизатор или шлюз. Такой маршрутизатор называют пограничным. В качестве AS можно рассматривать и более сложную совокупность связанных AS, если эта совокупность имеет выход во внешние сети опять же через пограничный маршрутизатор (шлюз). Из сказанного следует, что структура глобальных сетей является иерархической.

*Концентраторы* предназначены для объединения в сеть многих узлов. Так, концентраторами являются хабы в сетях 10Base-T или Token Ring. Однако такие концентраторы подобно мостам создают общую среду передачи данных без разделения трафика.

*Коммутаторы* в отличие от концентраторов предназначены для объединения в сеть многих узлов или подсетей с разделением трафика между подсетями. Как и в мостах, пакеты передаются только в ту подсеть, для которой они предназначены, что уменьшает общую загрузку сети. Но в отличие от многопортового моста в коммутаторе возможно одновременно иметь много соединений, т.е. обеспечивается параллельная передача сообщений. Коммутаторы используют также для связи нескольких ЛВС с территориальной сетью. Один коммутатор может объединять несколько как однотипных, так и разнотипных ЛВС.



*Маршрутизатор* (router) — блок взаимодействия, служащий для выбора маршрута передачи данных в корпоративных и территориальных сетях. С помощью маршрутизаторов могут согласовываться не только канальные протоколы, как это имеет место при применении мостов, но и сетевые протоколы. Маршрутизаторы содержат таблицы и протоколы маршрутизации в отличие от других узлов, которые могут содержать лишь локальные таблицы соответствия IP-адресов физическим адресам сетевых контроллеров в локальной сети. Маршрутизаторы могут фильтровать пакеты в соответствии с признаками, отраженными в заголовке пакета, т.е. выполнять роль брандмауэра — устройства, защищающего сеть от нежелательных вторжений извне.

Использование коммутаторов вместо маршрутизаторов (там, где это возможно) позволяет существенно повысить пропускную способность сети. Коммутатор работает с локальными MAC-адресами, в нем имеется таблица соответствия MAC-адресов и портов. Кроме того, между разными портами коммутатора образуется несколько соединений, по которым пакеты могут передаваться одновременно. В то же время маршрутизатор оперирует IP-адресами и таблицами маршрутизации и выполняет сложные алгоритмы маршрутизации.

Возможны коммутация «на лету» (сквозная коммутация — out-trough), когда передача пакета начинается сразу после расшифровки заголовка, и после полного получения пакета (промежуточная буферизация — store-and-forward). Первый способ чаще применяют в небольших сетях, второй — в магистральных коммутаторах. Сквозная коммутация позволяет уменьшить задержки в передаче пакетов и обойтись малым объемом буфера, но не дает возможности контролировать безошибочность передачи данных.

Обычно коммутатор имеет системную плату, ряд портов, группируемых в сегменты, систему коммутации портов и функциональные модули. Каждый сегмент ориентирован на ЛВС одного типа.

Так, коммутатор ODS Infinity фирмы OpticalData Systems имеет в своем составе сегменты для сетей типов Ethernet, Token Ring, FDDI, LocalTalk, причем в этих сегментах имеются гнезда для подключения 48, 48, 2 и 6 сетей соответственно. Порты соединяются посредством высокоскоростной общей шины (что более характерно для многопортовых мостов), но чаще через коммутирующую матрицу. Функциональные модули предназначены для связи сегментов и выхода в территориальную сеть.

Различают коммутаторы второго и третьего уровней. Сети с коммутаторами второго уровня подвержены так называемому ширококвещательному шторму, поскольку при ширококвещательной передаче пакеты направляются во все подсети, соединенные через коммутаторы, и сеть будет «забита» пакетами. Чтобы уменьшить отрицательное влияние такого шторма, сеть разбивают на подсети, в пределах которых и осуществляется ширококвещательность. Коммутатор третьего уровня разделяет подсети,

направляя через себя пакет только, если MAC-адрес получателя относится к другой подсети.

Обычно распределение узлов по подсетям выполняют по территориальному признаку. Однако при этом возможно объединение в одной подсети узлов, слабо связанных между собой в функциональном отношении. Возникают проблемы с защитой информации и управлением трафиком. Поэтому предпочтительнее распределять узлы по функциональному признаку, причем администратор сети должен иметь возможность перекоммутации узлов при изменениях в их функциях или расположении. Такие возможности имеются в виртуальных ЛВС.

*Виртуальная ЛВС (ВЛВС)* — это локальная сеть, в которой узлы сгруппированы не по территориальному, а по функциональному признаку. Для этого каждая подсеть в ВЛВС получает свой идентификатор, каждому идентификатору соответствуют определенные порты коммутаторов сети. Идентификатор указывается в заголовке кадра (структура кадра в ВЛВС задается стандартом IEEE 802/10) и поэтому коммутатор направляет кадр в нужную подсеть. Администратор сети может управлять структурой сети (перекоммутацией портов) с помощью специального ПО.

Лидером в производстве коммутаторов для ВЛВС является фирма Cisco. Ее коммутаторы семейства Catalyst допускают объединение в ВЛВС до 1024 подсетей FDDI, E, TR, ATM. Встроенные программы управления позволяют закреплять любой порт за любой подсетью.

*Шлюз (gateway — межсетевой преобразователь)* — блок взаимодействия, служащий для соединения информационных сетей различной архитектуры и с неодинаковыми протоколами. В шлюзах предусмотрено согласование протоколов всех семи уровней ЭМВОС. Примерами шлюзов могут быть устройства, соединяющие ЛВС типа Ethernet с сетью SNA, используемой для связи больших машин фирмы IBM. Часто под шлюзом понимают сервер, имеющий единственный внешний канал передачи данных.

## ЛЕКЦИЯ 11

### Основные элементы интерфейса Компас-3D

- Открытие готового документа.
- Главное окно системы.
- Главное меню и вызов команд.
- Закладки документов.
- Инструментальная область.
- Список наборов инструментальных панелей.
- Поиск команд.
- Контекстное меню.
- Панель управления и Панель параметров.



Ознакомимся с элементами управления окна КОМПАС-3D на примере готовой модели Держатель.а3d, которая находится в папке C:\Program Files ...\Ascon\Kompas-3D\[версия]\Tutorials\Азбука КОМПАС-3D\5Держатель\Результат.

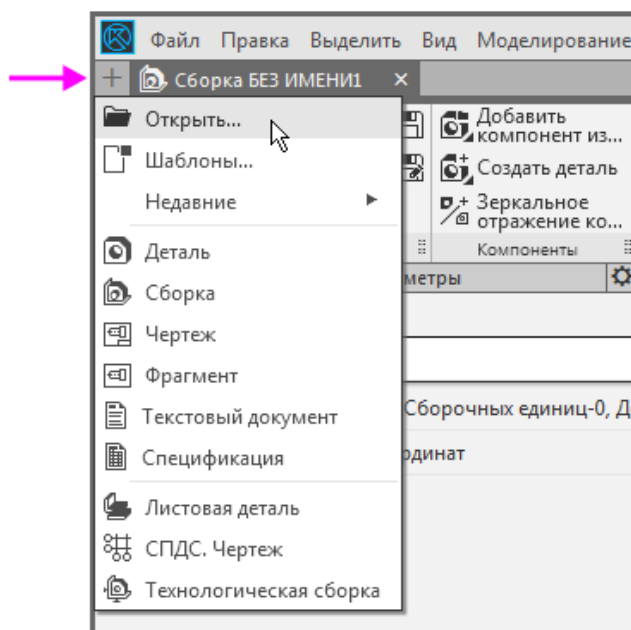
#### *Открытие готового документа*

После запуска системы КОМПАС-3D откройте документ **Держатель.а3d** одним из способов.

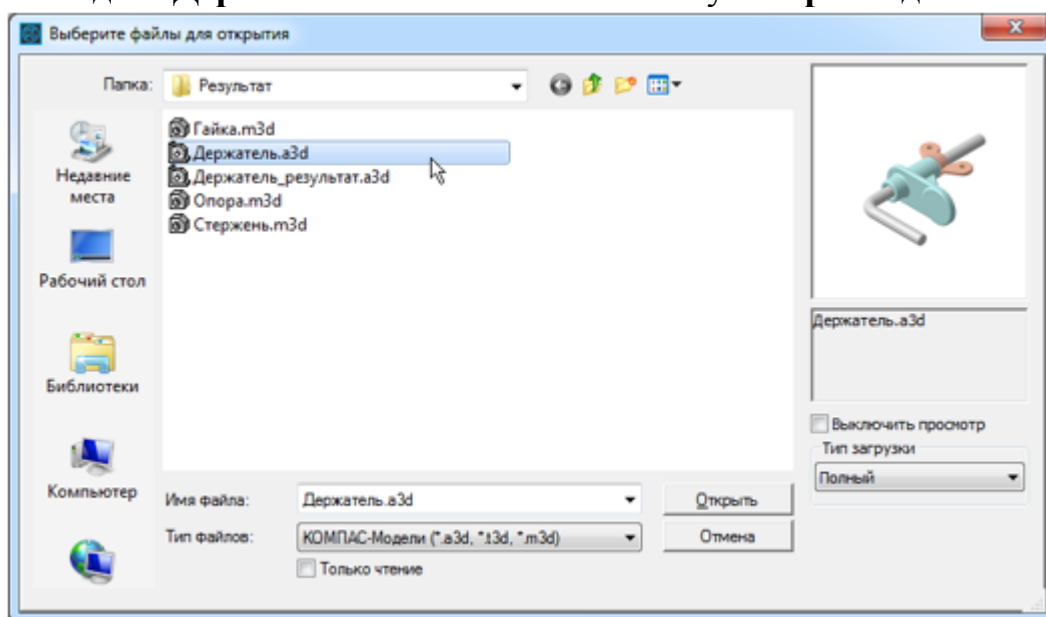
1. Если вы находитесь на стартовой странице, откройте меню **Файл** и вызовите из него команду **Открыть**.

Если в системе уже открыт какой-либо документ, вы также можете нажать

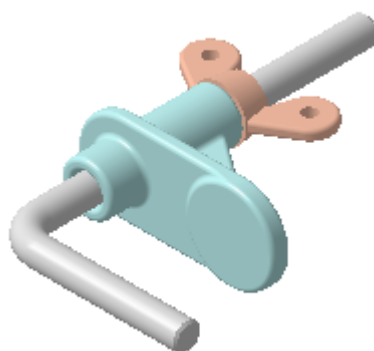
кнопку **Открыть...**  на панели **Системная**. Кроме того, для открытия документов можно нажать кнопку  и вызвать из меню команду **Открыть...** щелчком мыши.



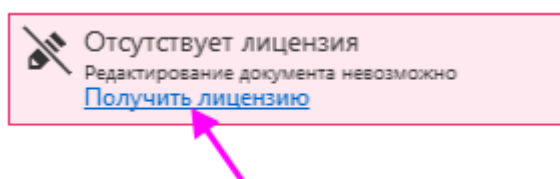
2. В папке \Tutorials\Азбука КОМПАС–3D\5Держатель\Результат укажите модель **Держатель.а3d** и нажмите кнопку **Открыть** диалога.



На экране появится изображение держателя.



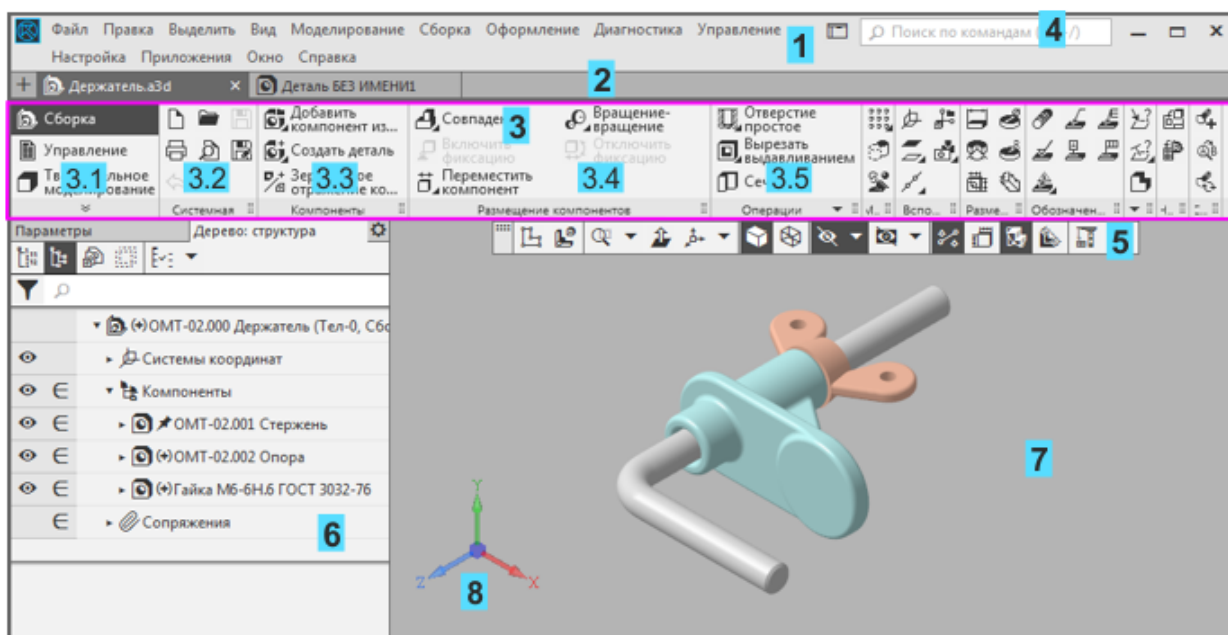
3. Если вы используете сетевой ключ аппаратной защиты, перед началом работы получите лицензию на работу с КОМПАС–3D. Для этого в графической области щелкните мышью по ссылке **Получить лицензию на КОМПАС–3D** или вызовите команду **Настройка – Получить лицензию на КОМПАС–3D**.



Сообщение исчезнет, а лицензия будет получена.

4. Просмотрите внешний вид Главного окна и ознакомьтесь с кратким описанием элементов управления.

## Главное окно системы

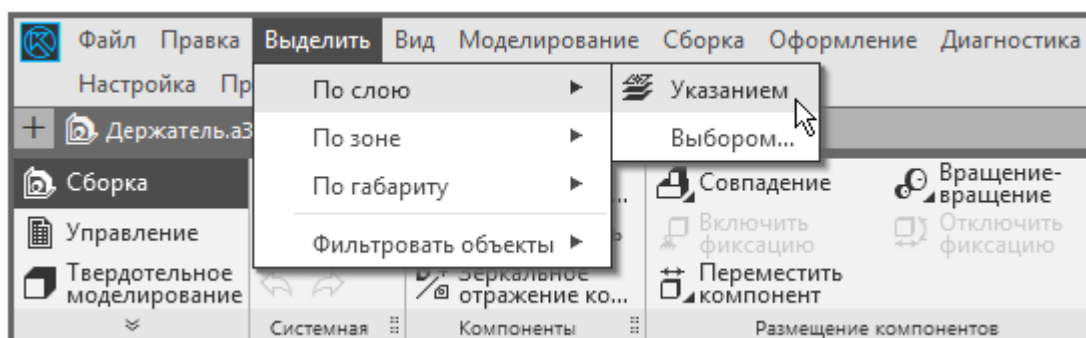


- 1 – Главное меню;
- 2 – Строка закладок документов;
- 3 – Инструментальная область (на рисунке обведена рамкой):
  - 3.1 – Список наборов инструментальных панелей;
  - 3.2 – Системная панель;
  - 3.3–3.5 – Инструментальные панели Компоненты, Размещение компонентов, Операции и другие;
- 4 – Строка поиска команд;
- 5 – Панель быстрого доступа;
- 6 – Панель управления (активна панель Дерева построения);
- 7 – Графическая область документа;
- 8 – Элемент управления ориентацией.

### Главное меню и вызов команд

Главное меню содержит все основные меню системы. В каждом из них хранятся команды, сгруппированные по темам. Команда, доступная для выбора, может быть вызвана как из меню, так и в инструментальной области щелчком мыши по названию или пиктограмме.

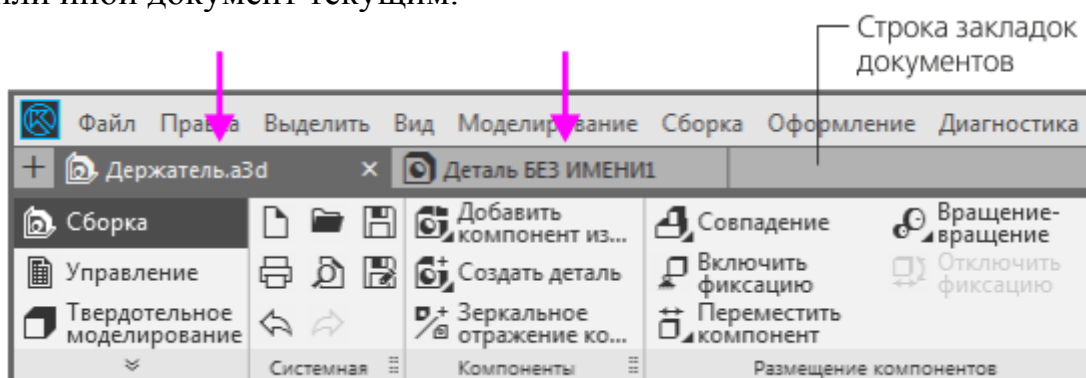
*Фраза в тексте «Вызовите команду Выделить – По слою – Указанием» означает последовательность действий: откройте меню Выделить, подведите курсор к строке По слою и вызовите команду Указанием.*



Доступность или недоступность команды определяется целесообразностью ее применения. Например, команды, предусмотренные исключительно для чертежа, будут недоступны в текущем документе-модели.

### *Закладки документов*

Если открыто несколько документов, щелчок мышью по закладке делает тот или иной документ текущим.



Для последовательного переключения между окнами документов можно использовать комбинацию клавиш **<Ctrl>+<Tab>**.

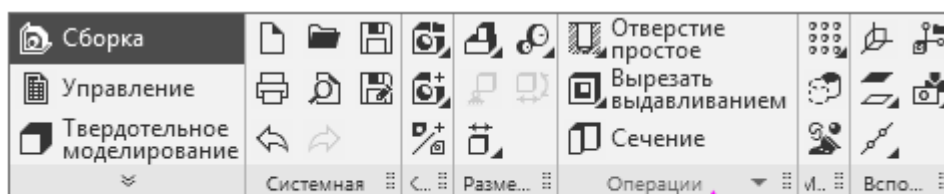
Двойной щелчок мышью в свободном месте строки закладок вызывает диалог создания документа.

### *Инструментальная область*

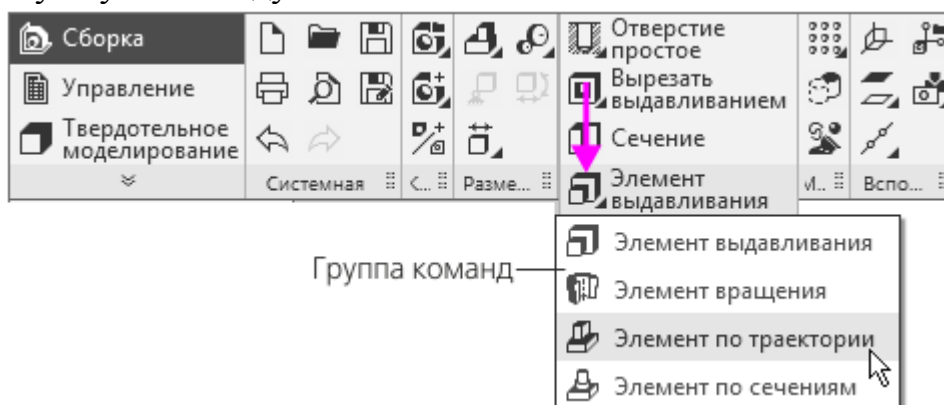
В инструментальной области видимы команды, пиктограммы которых расположены на трех строках. Команды распределены по панелям в соответствии с их назначением: **Системная, Компоненты, Операции, Вспомогательные объекты и другие**. Для компактности некоторые команды объединены в группы, и на панели представлена только одна команда группы. Рядом с пиктограммой команды группы изображен треугольник.


Чтобы вызвать команду, нужно щелкнуть мышью по ее пиктограмме или названию.



1. Если команда или группа команд невидима, разверните панель. Для этого щелкните мышью по полю названия панели.

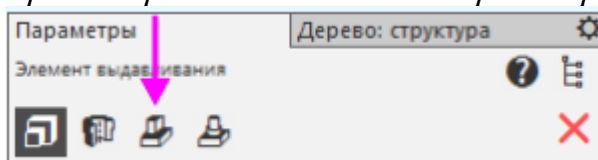


2. Если команда находится в группе, раскройте группу. Для этого щелкните мышью по пиктограмме с треугольником. Из раскрывшегося меню вызовите нужную команду.



В тексте для вызова таких команд будет использоваться следующая фраза: «Нажмите кнопку **Элемент по траектории**  на панели **Операции** (группа **Элемент выдавливания**)».

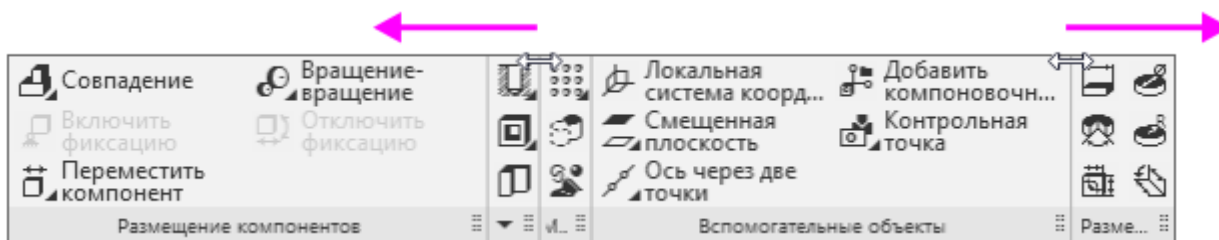
Вы можете вызывать команду из группы другим способом. Нажмите кнопку **Элемент выдавливания**  на панели **Операции**, а затем нажмите кнопку **Элемент по траектории**  на **Панели параметров команды**.



Чтобы рядом с пиктограммами отображались названия команд, нужно раздвинуть ту или иную панель, «перетаскивая» ее правую границу мышью. Отображение названий для нескольких панелей одновременно возможно только при условии, что в раздвинутом состоянии они полностью помещаются в Главное окно.

Если раздвинуть еще одну панель невозможно, то в этом случае необходимо предварительно свернуть одну из раздвинутых панелей.

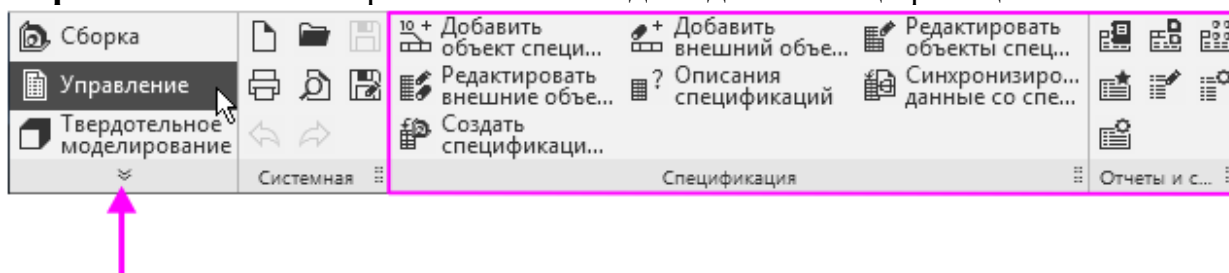
Например, по умолчанию раздвинуты панели **Размещение компонентов**, **Операции** и другие. Чтобы раздвинуть панели **Вспомогательные объекты**, нужно «перетащить» границу панели **Операции** влево, а затем границу панели **Вспомогательные объекты** вправо




### *Список наборов инструментальных панелей*

Список наборов инструментальных панелей включает в себя панели **Сборка** (для сборок), **Твердотельное моделирование**, **Каркас и поверхности**, **Листовое моделирование**, **Управление**, **Элементы эскиза** и другие.

Переключение на другой набор выполняется щелчком мыши по его строке. Например, щелчок по строке **Листовое моделирование** переключает на набор панелей команд создания листового тела, а щелчок по строке **Управление** – на набор панелей команд создания спецификаций и отчетов.



Набор панелей включает в себя как типовые панели команд для данного вида работы, так и общие, находящиеся в нем для удобства использования. Например, общие панели **Вспомогательные объекты** и **Эскиз** входят в наборы **Твердотельное моделирование**, **Листовое моделирование** и другие.

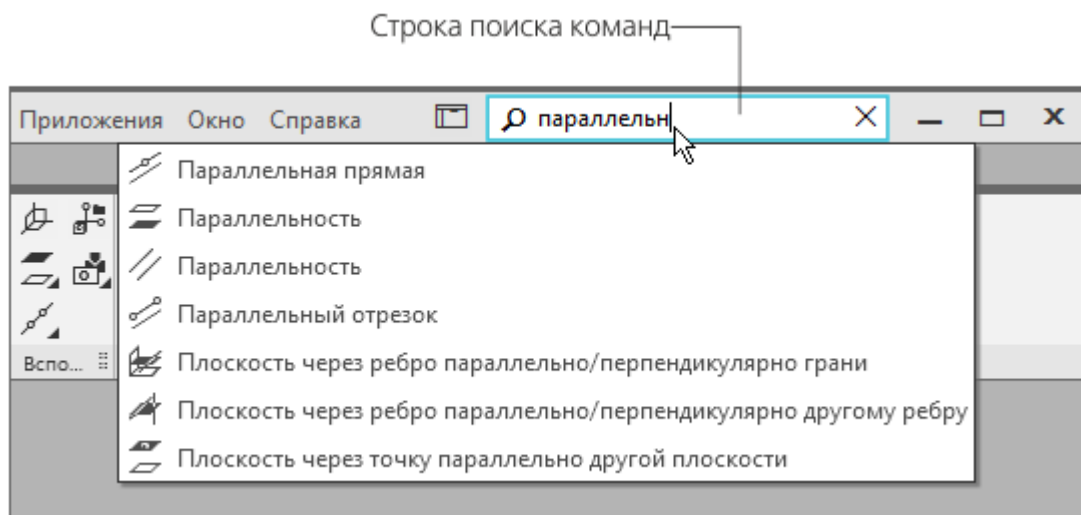
Для каждого типа документа в инструментальной области отображаются три панели по умолчанию. Кнопка  открывает список панелей, из которого щелчком мыши могут быть выбраны другие наборы.

Также в этом списке доступны панели приложений, подключенных по умолчанию. Приложение представляет собой дополнительный функционал, в котором собраны команды определенной тематики.

### *Поиск команд*

Чтобы вызвать команду по слову или части слова, находящимся в ее названии, следует ввести их с клавиатуры в Строку поиска, а затем в появившемся списке щелкнуть мышью по названию команды.



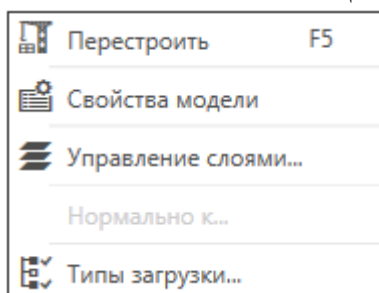


Сделать активной Строку поиска можно при помощи клавиатурной команды **<Alt>+</>**.

### *Контекстное меню*

Контекстное меню вызывается щелчком правой кнопки мыши в графической области. В меню собраны команды, часто используемые в данный момент работы.

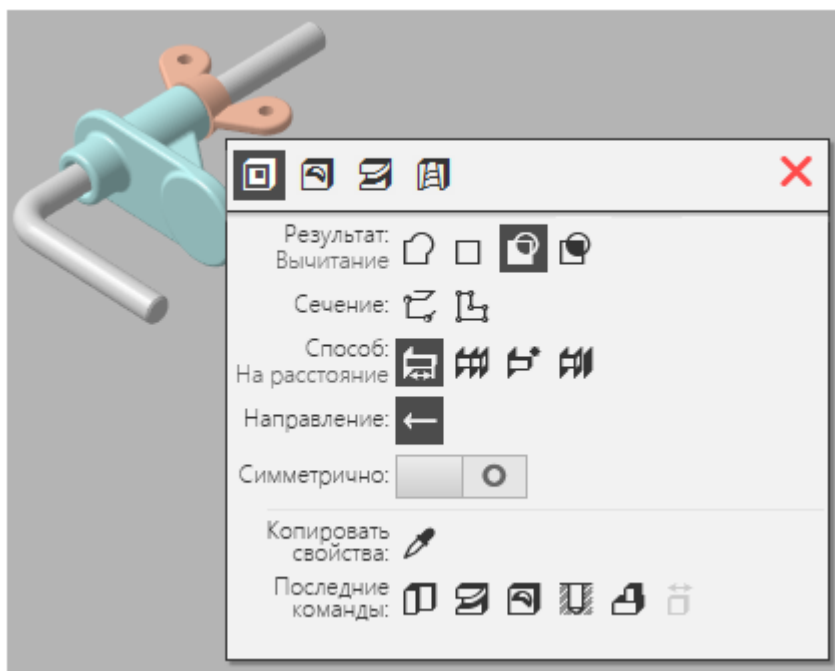
Например, если меню вызвано вне процесса работы какой-либо команды, то оно представляет собой список общих команд.



Если меню вызвано в процессе работы команды, то оно включает в себя различные элементы управления построением объекта (кнопки, переключатели, списки и др.), а также кнопки вызова последних использованных команд.

На рисунке меню показано для команды **Вырезать выдавливанием**



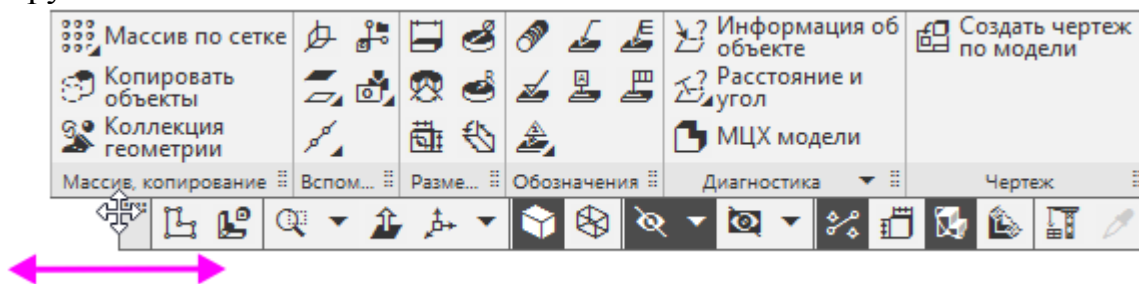


### ***Панель быстрого доступа***

Панель быстрого доступа содержит кнопки вызова команд выбора режима, управления изображением активного документа и другие. Ее состав зависит от выполняемого действия.

По умолчанию Панель быстрого доступа находится под инструментальной областью.


Панель можно «перетащить» мышью влево-вправо вдоль границы инструментальной области.



### ***Панель управления и Панель параметров***

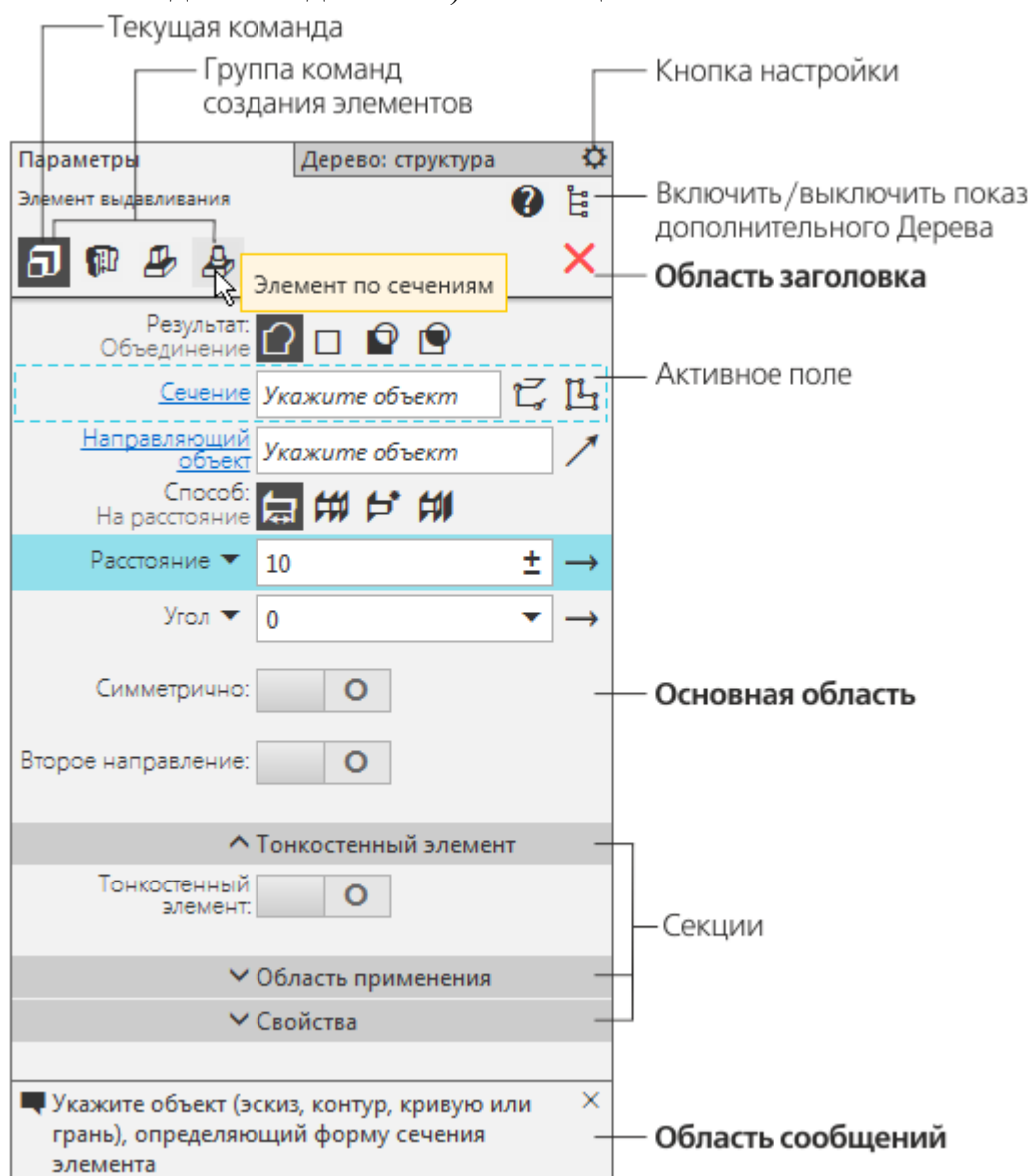
Панель управления предназначена для изменения параметров документа. Она включает в себя несколько панелей — по умолчанию Панель параметров и Панель дерева.

Панель параметров включает в себя три области.

- Область заголовка содержит название команды, кнопки вызова команд группы и кнопку настройки .

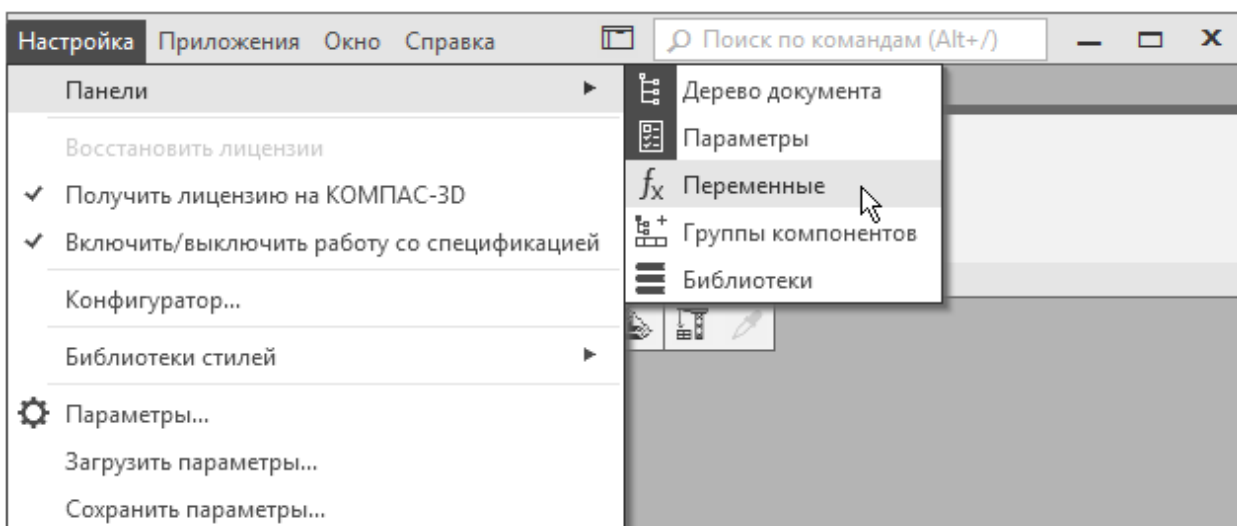
- Основная область содержит элементы управления для задания параметров и свойств объекта.

- Область сообщений содержит подсказки (в процессе работы команды — описание ожидаемого действия) и сообщения системы.

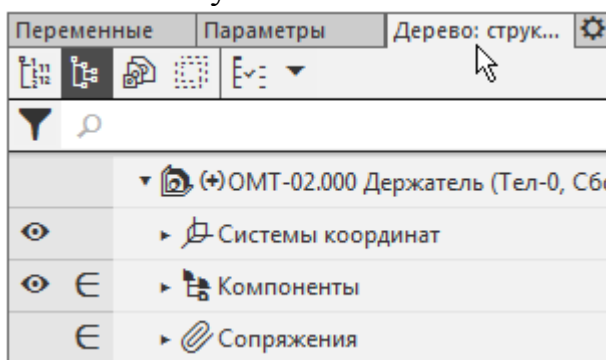


*Если вызвана команда, то в Основной области будут находиться элементы управления ее процессом. Если выделен один или несколько объектов вне работы команды, то в Основной области появится список их свойств, которые можно изменить. Если не выделен ни один объект и не запущена ни одна команда, то Основная область пуста.*

Вы можете добавить или удалить панели, выбрав или отказавшись от них в меню **Настройка – Панели**. Например, чтобы добавить Панель переменных, выберите вариант **Переменные**.

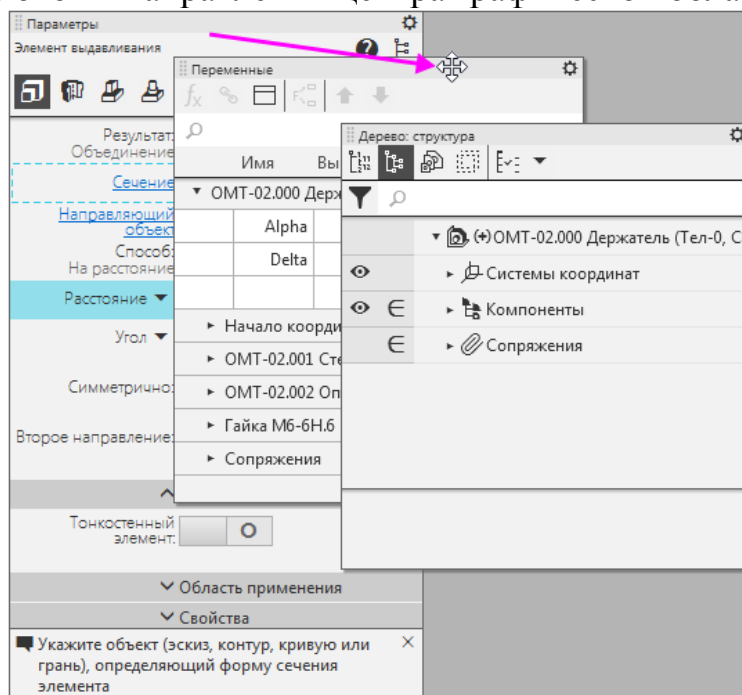


Чтобы активизировать панель, например, Панель дерева, нужно щелкнуть мышью по ее заголовку.

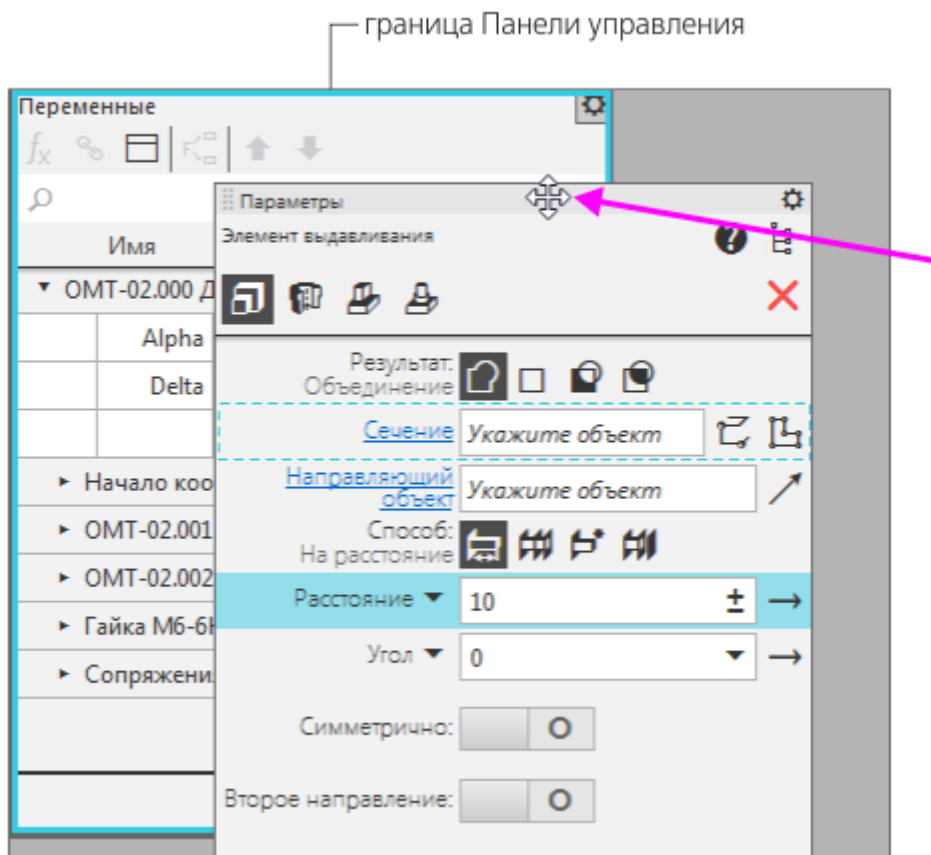


### «Плавающие» и зафиксированные панели

Чтобы перевести панель в «плавающее» состояние, «перетащите» ее мышью за заголовок в направлении центра графической области.



Чтобы зафиксировать панель слева или справа в графической области, нужно «перетащить» панель за заголовок к нужной границе, а после того как граница подсветится, отпустить кнопку мыши.

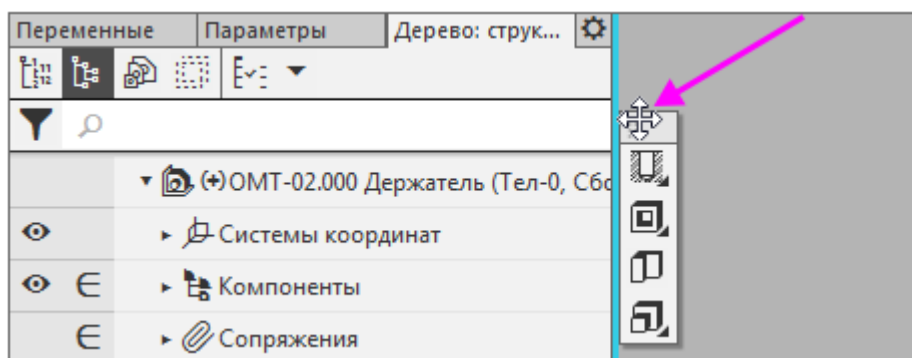


Аналогичные действия вы можете выполнять с панелями инструментальной области. Разница состоит лишь в том, что панели следует «перетаскивать» не за заголовок, а за маркер перемещения.




Маркер перемещения

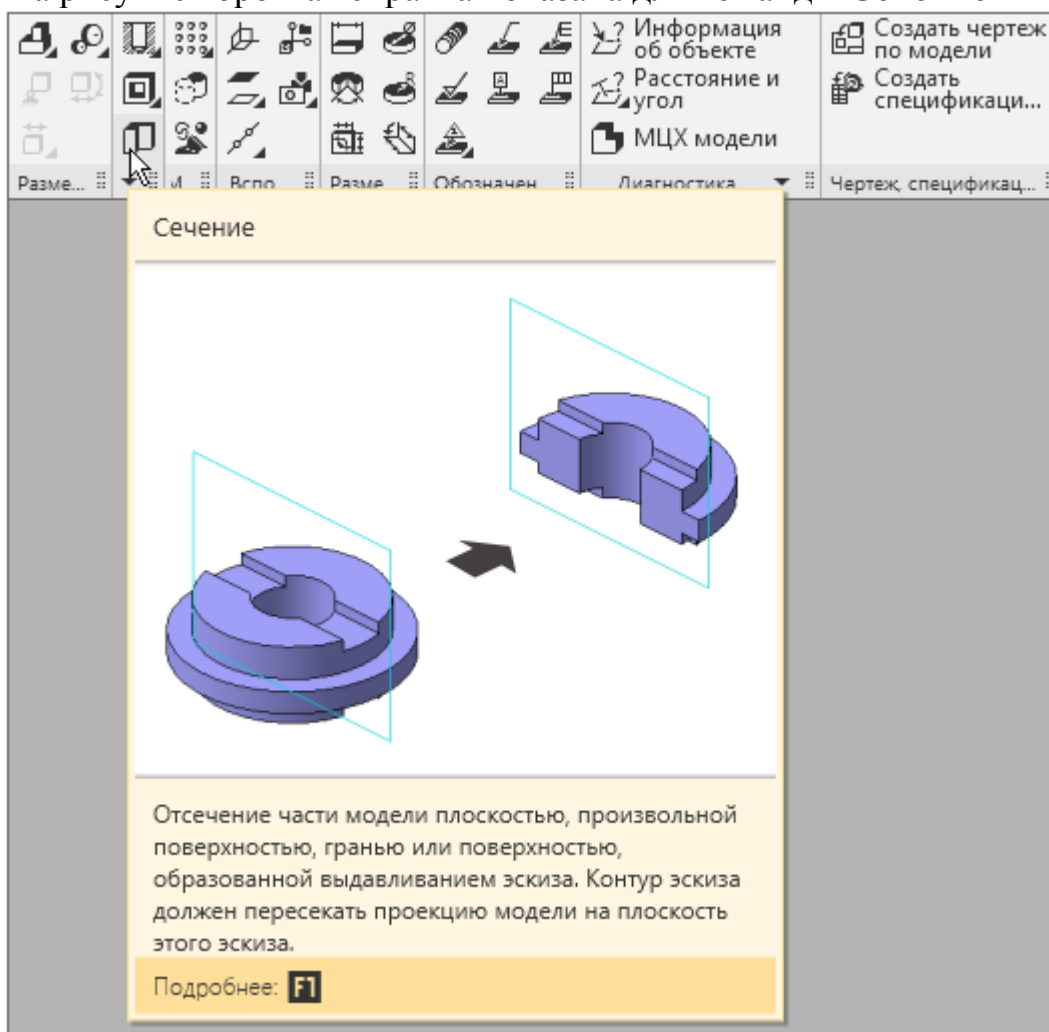
Инструментальные панели можно фиксировать как в инструментальной области, так и рядом с вертикальной границей графической области.




### Короткая справка

Короткая справка о работе команды появляется на экране, если подвести курсор к ее пиктограмме в инструментальной области или на Панели параметров и задержать его.

На рисунке короткая справка показана для команды **Сечение** 



Более подробное описание команды можно получить, наведя курсор на кнопку **Сечение**  и нажав клавишу <F1>.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования : Учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 430, [2] с.: ил. - («Информатика в техническом университете»).
2. Галкин, А. Г. Системы автоматизированного проектирования : Курс лекций / А. Г. Галкин, А.А. Ковалев. – Екатеринбург : УрГУПС, , 2009. – 92 с.
3. Горельская, Ю. В. 3D-моделирование в среде КОМПАС : методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Компьютерная графика» / Ю. В. Горельская, Е. А. Садовская. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2004. – 30 с. – ISBN 2227-8397.
4. Компас-3D : полное руководство. От новичка до профессионала / Н. В. Жарков, М. А. Минеев, М. В. Финков, Р. Г. Прокди. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2016. – 672 с. – ISBN 2227-8397.
5. Божко А.Н., Жук Д.М., Маничев В.Б. Компьютерная графика. М.: Изд- во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
6. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002.
7. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004.
8. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий (CASE-технологии). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
9. Норенков И.П., Трудоногин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.

Учебное издание

**Огняник Александр Васильевич**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СРЕДСТВ АПК**

*Курс лекций*

В авторской редакции

Подписано в печать 20.12.2019. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Усл. печ. л. – 5,5. Уч.-изд. л. – 4,3.

Кубанский государственный аграрный университет.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13