

В.М. Постников

**Курс лекций  
по дисциплине “Эксплуатация АСОИиУ”**

Модуль 1  
Выбор, установка, монтаж и эксплуатация  
технических средств АСОИиУ

Москва  
2021

## **Предисловие**

В современных условиях, в процессе создания, установки и эксплуатации сложных автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИиУ), слишком дорого приходится платить за принятые недостаточно обоснованно технические, организационные и управленческие решения. Это касается, в частности, выбора архитектуры системы, выбора оборудования и настройки его рабочих параметров на требуемый режим работы, определения так называемых узких мест вычислительной системы и способов их устранения в процессе промышленной эксплуатации системы, выбора варианта маршрута прокладки кабеля, а также выбора варианта обслуживания системы.

Современные специалисты по эксплуатации системы должны использовать в практической деятельности математический аппарат для обоснованного выбора наилучшего варианта решения проблемы, возникшей при обслуживании системы, с целью ее оперативного разрешения

Сокращение времени реакции системы на запрос пользователя, увеличение пропускной способности системы и среднего времени ее безотказной работы – вот те основные показатели функционирования АСОИиУ, построенной на основе локальных сетей, к достижению которых должен стремиться любой специалист, участвующий в обслуживании и сопровождении системы.

Цель учебного пособия состоит в содействии формированию у студентов базовых знаний, умений и навыков в области эксплуатации современных автоматизированных систем обработки информации и управления, построенных на базе локальных сетей, а также формированию у студентов устойчивой мотивации к анализу научно-технической информации и дальнейшему совершенствованию своих знаний.

Учебное пособие посвящено изложению основных понятий, методов, подходов, нормативных и руководящих документов, необходимых обслуживающему персоналу при проведении работ по эксплуатации АСОИиУ.

Учебное пособие имеет практическую направленность и содержит примеры, помогающие усвоить теоретический материал.

Приведенный материал может быть использован студентами при выполнении домашних заданий, курсовых и выпускных квалификационных работ.

**Лекция 1. Цели и задачи дисциплины. Нормативные документы по эксплуатации АСОИиУ. Стадии создания и эксплуатации АСОИиУ. Основные этапы эксплуатации АСОИиУ и задачи, решаемые на этих этапах. Организация автономных, комплексных и прямо-сдаточных испытаний. Опытная эксплуатация системы. Промышленная эксплуатация АСОИиУ.**

**Цель и задачи дисциплины:** научить будущего инженера принимать обоснованные технические и организационные решения в процессе эксплуатации АСОИиУ.

### **1.1 Нормативные документы по эксплуатации АСОИиУ**

Для обеспечения качественного проектирования и эффективного использования автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИиУ), созданных на основе ЛВС и включающих аппаратные, программные и информационные средства, разработаны и широко применяются на практике следующие нормативные документы.

1. ГОСТ 34.601–90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания», введенный в действие с 01.01.1992 г. Стандарт предусматривает 8 стадий, включающих 26 этапов создания, ввода в действие и сопровождения автоматизированных систем (АС).

2. ГОСТ Р 53622–2009 «Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Стадии и этапы жизненного цикла, виды и комплектность документов», введенный в действие с 01.01. 2011 г. Стандарт предусматривает 6 стадий, включающих 12 этапов создания, ввода в действие и сопровождения информационно-вычислительных систем (ИВС). Согласно ГОСТ Р 53622-2009 ИВС составляют основу автоматизированных систем управления (АСУ), а АСОИиУ- это разновидность АСУ.

### **1.2 Стадии создания и эксплуатации АСОИиУ**

Основные стадии создания и использования АС и ИВС даны в табл. 1.1.

Этапы создания и использования АС согласно нормативных документов. *Таблица 1.1*

№ п/п	Стадии создания АС согласно ГОСТ 34.601–90	Стадии жизненного цикла ИВС согласно ГОСТ Р 53622–2009
1	Формирование требований к АС	Разработка аванпроекта
2	Разработка концепции АС	Разработка технического задания
3	Техническое задание	Проектирование (обоснование технических решений)
4	Эскизный проект	Внедрение (эксплуатация)
5	Технический проект	Сопровождение (создание и ведение рабочих проектов изменений)
6	Рабочая документация	Снятие с эксплуатации
7	Ввод в действие*	–
8	Сопровождение АС (гарантийное и послегарантийное)	–

\* ) Перечень этапов, выполняемых на стадии 7, приведен ниже

- 7.1. Подготовка объекта автоматизации к вводу АС в действие.
- 7.2. Подготовка персонала.
- 7.3. Комплектация АС поставляемыми программно-техническими изделиями..
- 7.4. Строительно-монтажные работы (СМР). Создание кабельных каналов. Установка и монтаж комплекса технических средств (КТС).
- 7.5. Пусконаладочные работы. Автономная и комплексная наладка КТС и ПО.
- 7.6. Проведение предварительных испытаний. Устранение недостатков. Оформление акта о приемке АС в опытную эксплуатацию.
- 7.7. Проведение опытной эксплуатации и оформление акта о ее завершении.

7.8. Проведение приемочных испытаний. Устранение недостатков. Оформление акта о приемке АС в промышленную эксплуатацию.

### 1.3. Виды работ, выполняемых в процессе эксплуатации АСОИиУ

Анализ приведенных документов позволяет представить процесс эксплуатации АСОИиУ в виде трех стадий и 22 работ, выполняемых на этих стадиях (табл. 1.2).

Основные виды работ составляющие процесс эксплуатации АСОИиУ Таблица 1.2

№ п/п	Стадия	Основные виды работ, выполняемых на стадии
1	Подготовка к эксплуатации	<p>1.1. Анализ проектного решения по системе 1.2. Уточнение архитектуры системы и состава аппаратно-программных средств.</p> <p>1.3. Строительно-монтажные работы. Подготовка помещений, рабочих мест и создание кабельных каналов.</p> <p>1.4. Подготовка персонала.</p> <p>1.5. Установка технических средств и монтаж кабельной системы.</p> <p>1.6. Установка и настройка рабочих параметров ИПО обеспечения.</p> <p>1.7. Пусконаладочные работы. Автономная и комплексная наладка технических и программных средств.</p> <p>1.8. Проведение предварительных испытаний. Устранение недостатков.</p> <p>1.9. Подготовка плана перевода системы в опытную эксплуатацию.</p>
2	Ввод в действие	<p>2.1. Проведение опытной эксплуатации системы.</p> <p>2.2. Исправление замечаний по результатам опытной эксплуатации. Оформление акта о завершении опытной эксплуатации.</p> <p>2.3. Проведение приемочных испытаний.</p> <p>2.4. Устранение замечаний по результатам приемочных испытаний. Оформление акта о приемке системы в промышленную эксплуатацию.</p> <p>2.5. Подготовка системы к промышленной эксплуатации.</p> <p>2.6. Перевод системы в промышленную эксплуатацию.</p>
3	Обслуживание и сопровождение	<p>3.1. Выполнение персоналом текущих работ по заявкам пользователей.</p> <p>3.2. Выполнение персоналом регламентных работ по обслуживанию системы.</p> <p>3.3. Выполнение персоналом профилактических и ремонтных работ по обслуживанию системы.</p> <p>3.4. Выполнение персоналом и поставщиками работ в соответствии с гарантийными обязательствами.</p> <p>3.5. Послегарантийное обслуживание системы и ее частей.</p> <p>3.6. Сбор и анализ статистических данных о работе системы и ее отдельных частей.</p> <p>3.7. Принятие решения и проведение работ по модернизации и реорганизации системы или ее отдельных частей на основе данных о ее работе.</p>

#### 1.4. Оценка времени выполнения работ в процессе эксплуатации АСОИиУ

Для определения длительности выполнения отдельных работ, приведенных в табл. 1.2, обычно используют метод PERT (Program Evaluation and Review Technique), т. е. технологию оценивания времени выполнения работ.

На практике для оценки времени выполнения отдельных работ с помощью метода PERT применяют различные подходы (табл. 1.3).

Подходы к оценке времени выполнения отдельных работ, Таблица 1.3

№ п/п	Закон распределения времени выполнения работы	Среднее значение и среднеквадратическое отклонение времени выполнения работы
1	Бета-распределение или нормальное распределение	$t_i = (t_{i1} + 4t_{i2} + t_{i3})/6$ ; $\sigma_i = (t_{i3} - t_{i1})/6$
2	Триангулярное распределение	$t_i = (t_{i1} + t_{i2} + t_{i3})/3$ ; $\sigma_i = (t_{i3} - t_{i1})/5$
3	Минимаксное распределение	$t_i = (3t_{i1} + 2t_{i3})/5$ ; $\sigma_i = (t_{i3} - t_{i1})/5$

В табл. 1.3 приняты следующие обозначения:

$t_i$  — ожидаемое время выполнения  $i$ -й работы ( $i = 1, \dots, n$ );

$t_{i1}$  — оптимистическое (минимальное) время выполнения  $i$ -й работы;

$t_{i2}$  — наиболее вероятное время выполнения  $i$ -й работы;

$t_{i3}$  — пессимистическое (максимальное) время выполнения  $i$ -й работы;

$\sigma_i$  — среднеквадратическое отклонение времени выполнения  $i$ -й работы.

Метод PERT позволяет учесть неопределенность реальных продолжительностей выполнения отдельных работ проекта, которые считаются случайными величинами, для оценки и вероятностного анализа сроков выполнения проекта в целом.

Для последовательности  $n$  независимых работ формулы для вычисления временных значений выполнения комплекса этих работ имеют следующий вид:

$$t = \sum_{i=1}^n t_i; \quad (1.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (1.2)$$

где  $t$  — ожидаемое время выполнения последовательности работ, вычисляется как сумма ожидаемых времен выполнения этих работ;

$t_i$  - ожидаемое время выполнения  $i$  – й работы, определяемое по табл.1.3 ;

$\sigma$  — общее среднеквадратическое отклонение времени выполнения комплекса работ.

$\sigma_i^2$  - дисперсия времени выполнения  $i$  – й работы, определяемая по табл.1.3.

Если комплекс работ включает совокупность последовательных и параллельных работ, то временные значения  $t$  и  $\sigma$ , для рассматриваемого комплекса работ, определяют следующим образом:

- для каждой работы вычисляют среднее время ее выполнения и дисперсию этого времени, используя формулы, приведенные в табл.1.3

- строят граф, содержащий комплекс всех работ с указанием среднего времени их выполнения;
- на графе определяют продолжительности всех возможных путей путем суммирования средних времен выполнения отдельных работ, входящих в эти пути;
- определяют «критический путь», который соответствует пути последовательных работ наибольшей продолжительности;
- определяют временные значения  $t$  и  $\sigma$  для комплекса работ по формулам (1.1) и (1.2), при этом учитывают только те работы, которые входят в состав «критического пути».

Для оценки вероятности завершения комплекса работ в заданный директивный срок  $t_p$  в методе PERT используют значения функции вероятности нормального распределения  $P(x)$ . При этом значение аргумента  $x$  рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{t_p - t}{\sigma} \quad (1.3)$$

Значение  $P(x)$ , соответствующее аргументу  $x$ , определяют из табл.1.4

Таблица значений $x$ и $P(x)$								Таблица 1.4
$x$	$P(x)$	$x$	$P(x)$	$x$	$P(x)$	$x$	$P(x)$	
0,0	0,5	-	-	-	-	-	-	
0,3	0,6179	1,3	0,9032	2,3	0,9893	- 0,3	0,3821	
0,5	0,6915	1,5	0,9332	2,5	0,9937	- 0,5	0,3085	
0,8	0,7872	1,8	0,9640	2,8	0,9974	- 0,8	0,2128	
1,0	0,8412	2,0	0,9772	3,0	0,9986	- 1,0	0,1588	

$$P(1,2825) = 0,9 \quad P(1,6450) = 0,95 \quad P(2,3300) = 0,99 \quad P(2,5800) = 0,995$$

Для решения обратной задачи, т.е. нахождения директивного срока, за который будет выполнен комплекс работ с заданной вероятностью  $P(x)$ , по табл.1.4 определяют значение аргумента  $x$ , которое соответствует исходному значению  $P(x)$ , а затем вычисляют  $t_p$  по следующей формуле:

$$t_p = t + x \cdot \sigma \quad (1.4)$$

**Пример 1.1.** Определите с вероятностью 95% директивный срок, за который система будет введена в промышленную эксплуатацию. Исходные данные по времени выполнения отдельных независимых работ, входящих в комплекс последовательных работ, предшествующих вводу системы в промышленную эксплуатацию, приведены в табл. 1.5

Виды работ и времена их выполнения для ввода системы в эксплуатацию *Таблица 1.5*

№	Вид работы	Время выполнения $i$ – й работы (дни)	
		Оптимистическое время $t_{i1}$	Пессимистическое время $t_{i3}$
1	Установка КТС и монтаж кабелей.	30	45
2	Установка рабочих параметров ПО.	10	20
3	Комплексная наладка КТС и ПО	20	30
4	Опытная эксплуатация системы.	90	120
5	Подготовка системы к эксплуатации.	20	35

Решение.

1. Согласно исходным данным получаем, что значение  $P(x) = 0,95$

2. Используя формулы минимаксного распределения времени выполнения отдельных работ, приведенные в табл.1.3, получаем среднее значение и среднеквадратическое отклонение времени выполнения каждой работы, указанной в табл.1.5.

$$t_1 = (90 + 90) / 5 = 35 \text{ дней}$$

$$\sigma_1 = (45 - 30) / 5 = 3 \text{ дня}$$

$$t_2 = (30 + 40) / 5 = 14 \text{ дней}$$

$$\sigma_2 = (20 - 10) / 5 = 2 \text{ дня}$$

$$t_3 = (60 + 60) / 5 = 24 \text{ дня}$$

$$\sigma_3 = (30 - 20) / 5 = 2 \text{ дня}$$

$$t_4 = (270 + 240) / 5 = 102 \text{ дня}$$

$$\sigma_4 = (120 - 90) / 5 = 6 \text{ дней}$$

$$t_5 = (60 + 70) / 5 = 26 \text{ дня}$$

$$\sigma_5 = (35 - 20) / 5 = 3 \text{ дня}$$

3. Определяем среднее значение  $t$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  времени выполнения всего комплекса работ по формулам (1.1) и (1.2)

$$t = \sum_{i=1}^n t_i = 201 \text{ день}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = \sqrt{62} = 7,9 \text{ дней}$$

4. По таблице 1.4 для значения  $P(x) = 0,95$  определяем значение аргумента. Получаем, что  $x = 1,645$

5. Определяем директивный срок ввода системы в промышленную эксплуатацию с вероятностью 95% , используя формулу (1.4). Получаем, что

$$t_p = t + x \cdot \sigma = 201 + 1,645 \cdot 7,9 = 214 \text{ дней}$$

### 1.5 Организация работ по установке и эксплуатации АСОИиУ

Выделяют три типовых варианта организации работ по установке и эксплуатации АСОИиУ. Считаем, что А — организация, где система устанавливается (заказчик), В — организация-подрядчик.

**Вариант 1. Полная эксплуатация системы** — сотрудники организации А осуществляют эксплуатацию системы.

**Вариант 2. Частичная эксплуатация системы** — администрирование системы осуществляют сотрудники организации А, а техническую поддержку — сотрудники организации В.

**Вариант 3. Договорная эксплуатация системы** — организация А заключает договор с организацией В на эксплуатацию и сопровождение системы.

Варианты 2 и 3 это своего рода ИТ аутсорсинг, когда обслуживание АСОИиУ частично или полностью осуществляет специализированная организация.

Преимущества ИТ аутсорсинга для заказчика:

- 1) экономия средств, поскольку постоянное содержание специалистов по информационным технологиям обходится довольно дорого;
- 2) гарантия возмещения ущерба при утрате данных или выходе из строя оборудования;
- 3) качественное обслуживание системы специалистами;

Основные недостатки ИТ аутсорсинга для заказчика:

- 1) удаленность заказчика от фирмы поставщика услуг по эксплуатации АСОИиУ;
- 2) финансовые риски, связанные с политикой фирмы поставщика услуг по эксплуатации АСОИиУ;

3) низкий уровень мотивации сотрудников заказчика к совершенствованию своей профессиональной деятельности.

### **1.6 Виды технического обслуживания оборудования АСОИиУ**

Различают следующие виды технического обслуживания:

- 1) регламентное обслуживание — обслуживание, проводимое при достижении параметрами изделия некоторых регламентированных показателей, указанных в эксплуатационной документации;
- 2) календарное обслуживание — проведение профилактических работ в строго определенные календарные сроки;
- 3) комбинированное обслуживание — сочетание по мере необходимости принципов регламентного и календарного обслуживания.

В документах также указаны виды профилактических работ, которые проводятся обслуживающим персоналом:

- 1) ежедневная профилактика - включает в себя внешний осмотр оборудования с целью выявления его комплектности, отсутствия внешних механических повреждений, выявления не полностью присоединенных электрических кабелей;
- 2) еженедельная профилактика - включает проверку работоспособности оборудования и каналов связи на тестах в ускоренном режиме;
- 3) ежесюмесячная профилактика - включает еженедельную профилактику, а также следующие работы:
  - полное тестирование всех устройств АСОИиУ с выдачей протоколов тестирования;
  - установку обновленных антивирусных программ и полную проверку системы на наличие вирусов;
  - очистку от пыли и грязи внутренних объемов устройств и смазку всех механических узлов.
- 4) полугодовая профилактика - включает еженедельную и ежесюмесячную, а также работы связанные с проведением полной диагностики и тестирования источников бесперебойного питания.

### **1.7 Гарантийное и послегарантийное обслуживание оборудования АСОИиУ**

На любое оборудование его производитель устанавливает срок гарантийного обслуживания – это срок, в течение которого, при наличии дефекта в процессе эксплуатации оборудования, устранение этого дефекта (замена неисправных компонент или ремонт оборудования) производится за счет производителя оборудования. Срок гарантийного обслуживания исчисляется от даты, которая фиксируется в Гарантийном талоне при покупке оборудования.

Гарантийное обслуживание оборудования осуществляется в авторизованных сервисных центрах, указанных в Гарантийном талоне.

Послегарантийное обслуживание оборудования осуществляется после завершения срока его гарантийного обслуживания и требует заключения договора с авторизованным сервисным центром, который будет осуществлять это обслуживание.

### **1.8 Организация промышленной эксплуатации АСОИиУ**

Согласно ГОСТ Р 53624-2009 «Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Программное обеспечение. Системы менеджмента качества. Требования», между специалистами, занятыми эксплуатацией АСОИиУ, должны быть четко распределены и описаны в должностных инструкциях их права, обязанности и ответственность.



Для обеспечения эффективной работы АСОИиУ в период ее промышленной эксплуатации обслуживающему персоналу рекомендуется:

1. проводить приемочные испытания системы, для ввода ее в промышленную эксплуатацию, в строгом соответствии с требованиями нормативных документов и технического задания на систему;
2. выполнять типовые правила по поиску и устранению ошибок в работе АСОИиУ
3. соблюдать особенности и правила гарантийного и послегарантийного обслуживания оборудования АСОИиУ (см. Приложение 2);
4. соблюдать правила проведения регламентных и профилактических работ, приведенные в эксплуатационных документах на оборудование системы;
5. осуществлять постоянный мониторинг текущего состояния системы, изучать трафик и загрузку отдельных узлов системы с целью определения узких мест и нахождения причин их возникновения;
6. проводить детальный анализ вариантов реорганизации системы с целью устранения узких мест и выработки рекомендаций по дальнейшему развитию и совершенствованию АСОИиУ;.
7. аккуратно и корректно работать с документами, используемыми при обслуживании и сопровождении системы.

Для промышленной эксплуатации АСОИиУ необходимо иметь следующий комплект документов:

- 1) штатное расписание обслуживающего персонала, содержащее полный перечень сотрудников, их должностные обязанности, зоны ответственности и график работы;
- 2) штатное расписание работы оборудования, регламентирующее порядок функционирования всех компонент, входящих в состав АСОИиУ;
- 3) документацию на строительно-монтажные работы, проведенные в помещениях занимаемых АСОИиУ, и схемы прокладки кабельной системы;
- 4) инструкции к действиям в нештатных ситуациях, в которых должны быть приведены типовые варианты действий всех категорий сотрудников;
- 5) журнал нештатных ситуаций, в котором должны быть отражены все нештатные ситуации, происходившие в АСОИиУ, а также все действия, предпринятые обслуживающим персоналом для их устранения;
- 6) журнал регламентных работ, предназначенный для занесения сроков их выполнения и лиц, проводивших эти работы;
- 7) оперативный журнал, в котором должны быть зафиксированы все события, происходящие в АСОИиУ.

## **Лекция 2. Показатели оценки эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ. Организация рациональной инфраструктуры рабочих помещений для размещения персонала и технических средств.**

### **2.1 Показатели оценки эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ**

Согласно ГОСТ 15467-79, «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения», качество работы АСОИиУ должно удовлетворять потребностям пользователей, а АСОИиУ должна обеспечивать обслуживающему персоналу надежность и удобство ее эксплуатации.

В общем случае обобщенный показатель ( $Y$ ) эффективности функционирования АСОИиУ можно представить с помощью многомерного кортежа следующего вида:

$$Y = (C, D, B, A, H)$$

Где  $C$  - множество показателей экономической эффективности, например, срок окупаемости, годовой экономический эффект и т.д.;

$D$  - множество показателей достоверности обрабатываемой информации, например, вероятность появления битовой ошибки и т.д.;

$B$  - множество показателей информационной безопасности, например, вероятность предотвращения угрозы и т.д.;

$A$  - множество показателей аппаратно-программной эффективности, например, время реакции системы на запрос пользователя, производительность системы и т.д.

$H$  - множество показателей эксплуатационной эффективности, например, коэффициент готовности системы, коэффициент ее технического использования и т.д.

### **2.2 Показатели оценки надежности работы АСОИиУ**

Надежность, как комплексное свойство систем, включает в себя в соответствии с ГОСТ 27.002-80 «Надежность в технике. Термины и определения» следующие показатели:

1. безотказность работы - свойство системы сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;

2. ремонтпригодность - свойство системы обнаруживать причины возникновения отказов и восстанавливать работоспособное состояние путем проведения технического обслуживания и ремонтов.;

3. долговечность - свойство системы сохранять, при указанном техническом обслуживании и ремонте, работоспособное состояние до такого момента, когда дальнейшее использование системы по назначению недопустимо или нецелесообразно.

### **2.3 Показатели безотказности работы АСОИиУ**

Основными показателями безотказности работы системы являются:

- *вероятность безотказной работы* — вероятность того, что в пределах заданного времени работы отказ в системе не возникнет;
- *вероятность отказа* - вероятность того, что система откажет в течение заданного времени работы;
- *среднее время наработки на отказ* ( $MTBF$  — Main Time Between Failures) - среднее время между отказами;
- *интенсивность отказов* — среднее количество отказов в единицу времени работы системы.

## 2.4 Показатели ремонтпригодности работы АСОИиУ

Основными показателями ремонтпригодности работы системы являются:

- *вероятность восстановления работоспособного состояния системы* - вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния системы не превысит заданного в техническом задании;
- *среднее время восстановления работоспособного состояния системы* - это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния системы;

## 2.5 Показатели долговечности работы АСОИиУ

Основными показателями долговечности работы системы являются:

- *средний ресурс* - математическое ожидание времени работы системы от начала ее эксплуатации до перехода в предельное состояние;
- *срок службы системы* - календарная продолжительность работы системы от начала ее эксплуатации до перехода в предельное состояние;

## 2.6 Показатели эксплуатационной эффективности работы АСОИиУ

Согласно ГОСТ 24.701-86 «Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения» к числу основных комплексных показателей надежности и эксплуатационной эффективности функционирования АСОИиУ относятся:

- коэффициент готовности системы ( $K_z$ );
- коэффициент технического использования системы ( $K_{т.и}$ );
- коэффициент оперативной готовности ( $K_{о.г}$ )

Эти показатели определяют по следующим формулам:

$$K_z = \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{в}} \quad (2.1)$$

$$K_{т.и} = \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{в} + T_{п.с}} \quad (2.2)$$

$$K_{о.г} = K_z K_{т.и} = \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{в}} \cdot \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{в} + T_{п.с}} \quad (2.3)$$

где  $T_{н.о}$  — среднее время наработки на отказ, т. е. среднее время между двумя соседними отказами;

$T_{в}$  — среднее время восстановления системы после отказа;

$T_{п.с}$  — среднее время простоя системы из-за планового технического обслуживания и ремонта, т. е. время профилактических работ, пересчитанное на один отказ.

Вычислительные системы классифицируют по уровню надежности в зависимости от значения коэффициента готовности (табл. 2.1).

Классификация АСОИиУ по значению коэффициента готовности Таблица 2.1

Коэффициент готовности $K_z$	Максимальное время простоя в год	Тип системы
0,99	3,5 сут = 84 ч	Обычная (Conventional)
0,999	8,5 ч	Высокой надежности (High availability)
0,9999	1 ч	Отказоустойчивая (Fault resilient)
0,99999	0,083 ч = 5 мин	Безотказная (Fault tolerant)

Для обеспечения требуемых значений показателей надежности технических средств АСОИиУ обычно используют резервирование либо этих средств целиком, либо дублирование отдельных компонентов, входящих в состав этих средств. Все это предусматривает наличие избыточности элементов в составе технических средств АСОИиУ

## 2.7 Оценка эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ

Для оценки эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ на практике используют показатель - общая эффективность промышленной эксплуатации системы (Overall Equipment Effectiveness – OEE),  $K_{O.E.E}$ , который учитывает оперативную готовность -  $K_{O.г}$ , реальную производительность  $K_{p.n}$  и качество ее работы  $K_{к.p}$ .

Показатель  $K_{O.E.E}$  рассчитывают по следующей формуле

$$K_{O.E.E} = K_{O.г} \cdot K_{p.n} \cdot K_{к.p} \quad (2.4)$$

Коэффициент  $K_{O.г}$  определяют по формуле (2.3);

Коэффициент  $K_{p.n}$  определяют по формуле (2.5)

$$K_{p.n} = 1 - \delta_{с.план} \quad (2.5)$$

Где:  $\delta_{с.план}$  - коэффициент, учитывающий снижение объема выполненной работы по сравнению с плановой.

Коэффициент  $K_{к.p}$  определяют по формуле (2.6)

$$K_{к.p} = 1 - \delta_{нвт} \quad (2.6)$$

Где:  $\delta_{нвт}$  - коэффициент, учитывающий количество некорректно выполненных транзакций от общего количества из-за ошибок в работе программистов и операторов.

После расчета показателя  $K_{O.E.E}$  качество работы АСОИиУ можно оценить по данным, приведенным в табл. 2.2

Таблица 2.2

Вербально-числовая шкала оценки качества работы АСОИиУ

Значение показателя $K_{O.E.E}$	Качество работы АСОИиУ
менее 0,65	очень плохое
от 0,65 до 0,75	плохое
от 0,75 до 0,85	удовлетворительное
от 0,85 до 0,95	хорошее
более 0,95	очень хорошее

**Пример 2.1.** Определите показатель общей эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ -  $K_{O.E.E}$  и дайте качественную оценку работы рассматриваемой АСОИиУ, если она характеризуется следующими показателями:

- среднее время наработки на отказ  $T_{н.о} = 2480$  ч. ;
- среднее время восстановления после отказа  $T_{в} = 20$  ч.;

- среднее время выполнения плановых профилактических работ, пересчитанное на один отказ, простой системы  $T_{н.с} = 30$  ч.;

- количество выполненных транзакций на 5% меньше планового показателя, поэтому

$$\delta_{с.план} = 0,05;$$

- количество некорректно выполненных транзакций, из-за ошибок в работе операторов и/или программистов, составляет 3,5% от общего количества выполненных транзакций,

поэтому  $\delta_{нвт} = 0,035$

*Решение* 1. Определяем коэффициент оперативной готовности АСОИиУ по формуле (2.3)

$$K_{о.г} = K_{г} \times K_{т.и} = \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{г}} \times \frac{T_{н.о}}{T_{н.о} + T_{г} + T_{н.с}};$$

После подстановки исходных данных имеем:

$$K_{ог} = \frac{2480}{2480 + 20} \cdot \frac{2480}{2480 + 20 + 30} = 0,992 \cdot 0,98 = 0,972$$

2. Определяем коэффициент реальной производительности АСОИиУ по формуле

$$K_{р.н} = 1 - \delta_{с.план} = 1 - 0,05 = 0,95$$

3. Определяем коэффициент качества работы АСОИиУ по формуле

$$K_{к.р} = 1 - \delta_{нвт} = 1 - 0,035 = 0,965$$

4. Определяем показатель эффективности промышленной эксплуатации АСОИиУ

$$K_{о.е.е} = K_{о.г} \times K_{р.н} \times K_{к.р} = 0,972 \cdot 0,95 \cdot 0,965 = 0,891 \quad (2.7)$$

5. Сравниваем рассчитанное значение показателя  $K_{о.е.е} = 0,891$

с значениями, приведенными в табл. 2.2., и получаем, что качество работы рассматриваемой АСОИиУ – хорошее.

Согласно ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» качество работы АСОИиУ можно оценивать по показателю экономической эффективности.

В этом случае показатель экономической эффективности АСОИиУ ( $K_{э}$ ) характеризует отношением экономического эффекта ( $\mathcal{E}$ ), получаемого от работы системы, к затратам на ее приобретение и установку ( $C_n$ ), эксплуатацию ( $C_{э}$ ) и утилизацию ( $C_y$ ).

$$K_{э} = \frac{\mathcal{E}}{C_n + C_{э} + C_y} \quad (2.8)$$

Следует иметь в виду, что эффективность функционирования АСОИиУ в значительной степени зависит не только уровня квалификации обслуживающего персонала, но и от организации условий его труда.

В ГОСТ Р 53624-2009 «Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Программное обеспечение. Системы менеджмента качества. Требования» рекомендуется обратить особое внимание на то, чтобы рабочее пространство для размещения персонала и оборудования соответствовало санитарно гигиеническим требованиям по охране труда, санитарным нормам и нормам безопасности. В связи с этим инфраструктура рабочих помещений АСОИиУ должна отвечать определенному набору требований.

## **2.8 Организация рациональной инфраструктуры рабочих помещений для размещения персонала и оборудования.**

Инфраструктура рабочих помещений для размещения персонала и компьютерного оборудования должна удовлетворять требованиям, изложенным в санитарных нормах и правилах (СНиП), а также в санитарных нормах (СН). Эти требования касаются размеров помещения, окраски стен, освещения и микроклимата в помещении, а также мероприятий, направленных на снижение уровня шума. Рассмотрим основные требования.

- В соответствии с требованиями СН 245–71 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» объем производственного помещения на одного оператора, работающего с ПЭВМ, должен составлять не менее 30 м<sup>3</sup>, площадь помещения — не менее 9 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть в пределах 3,0...3,5 м.

- Окраска помещений и мебели должна способствовать созданию благоприятных условий для зрительного восприятия, хорошего настроения.

В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен: если окна ориентированы на юг, то стены должны быть светло-голубого цвета, если окна на восток или запад, то желто-зеленого цвета, если окна на север, то стены должны быть светло-оранжевого цвета.

- Правильно спроектированное освещение снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда.

Согласно СНиП 11–4–79, в помещениях вычислительных подразделений необходимо применять систему комбинированного освещения (естественного и искусственного), при этом светильники должны равномерно располагаться над рабочими местами.

При выполнении операторами работ средней точности естественная освещенность должна составлять 200 лк, а комбинированная — 300 лк.

- Параметры микроклимата в помещениях оператора ПЭВМ должны соответствовать требованиям СН–245–71, а норма подачи свежего воздуха в помещения должна соответствовать требованиям СНиП 2.04.05–86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». При этом микроклиматические параметры должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования». Температура воздуха в помещении должна составлять 22...25 °С, а относительная влажность — 40...60 %.

- Уровень шума в помещениях АСОИиУ должен соответствовать требованиям ГОСТ 27818-88 «Машины вычислительные и системы обработки информации. Допустимые уровни шума на рабочих местах и методы их определения», ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Уровень шума (или звукового давления) на рабочем месте оператора ПЭВМ не должен превышать 50 дБ, а в залах — 65 дБ. Шум с уровнем звукового давления 30 – 35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Шум в пределах 40 – 70 дБ создает нагрузку на человека, а более 70 дБ вреден. Для снижения уровня шума стены и потолок облицовывают звукопоглощающими материалами.

При организации рабочего места оператора ПЭВМ следует соблюдать требования ГОСТ 22973–78 «Система человек — машина. Общие требования». При этом рабочее место оператора ПЭВМ также должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя». Данный ГОСТ контролирует как параметры кресла и стола оператора ПЭВМ, так и взаимное расположение оператора и ПЭВМ.

Для комфортной и эффективной работы оператора ПЭВМ нужно выполнять следующие правила, касающиеся организации его рабочего места:

- высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 67...80 см;
- высота поверхности, на которую установлена клавиатура, должна быть около 65 см;
- высота сиденья должна регулироваться над уровнем пола а пределах 42 см – 55 см.;
- расстояние от глаз до экрана монитора должно быть в пределах 70 см;
- расстояние от глаз до документа должно быть в пределах 30 см – 45 см;
- освещенность рабочего места оператора ПЭВМ должна составлять не менее 100 лк.

При организации помещений для размещения оборудования следует соблюдать ГОСТ Р 53246–2008 «Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования». Поэтому при построении АСОИиУ на базе ЛВС необходимо предусмотреть еще два типа служебных помещений — телекоммуникационную и аппаратную.

Помещение телекоммуникационной предназначено для размещения коммуникационного оборудования и должно отвечать следующим требованиям:

- минимальные размеры двери — 90 см в ширину и 2 м в высоту, дверь должна открываться наружу и не иметь порога;
- размеры телекоммуникационной должны составлять около 6,6 м<sup>2</sup> при площади обслуживаемого этажа в 500 м<sup>2</sup>;
- помещение должно быть оборудовано замком для доступа только авторизованного персонала;
- светильники должны находиться на высоте не менее 2,5 м над уровнем пола, а уровень освещенности должен быть не менее 500 лк;
- иметь как минимум две выделенные неотключаемые электрические розетки технологического питания переменного тока 20 А с номинальным напряжением 220 В, питаемые от разных фидеров;
- иметь бытовые розетки с интервалом 2 м по периметру стен.

Помещение аппаратной предназначено для размещения вычислительного оборудования. При проектировании аппаратной рекомендуется рассчитывать ее площадь таким образом, чтобы на каждые 10 м<sup>2</sup> обслуживаемого пространства, занятого рабочими местами, приходилось по 0,07 м<sup>2</sup> площади пола помещения аппаратной.

Помещение аппаратной должно отвечать следующим требованиям:

- при числе рабочих мест до 100 площадь аппаратной должна составлять 15 м<sup>2</sup>, при числе рабочих мест от 101 до 400 — 35 м<sup>2</sup>, а при числе рабочих мест от 401 до 800 — около 75 м<sup>2</sup>;
- минимальная рекомендуемая площадь аппаратной — 14 м<sup>2</sup>;
- размеры двери должны быть 1,8 м в ширину и 2,3 м в высоту;
- температура воздуха в аппаратной должна составлять 18...24 °С;
- относительная влажность воздуха должна быть 30...55 %;
- рекомендуемая минимальная высота фальшпола в аппаратных должна составлять 300 мм, но не менее 150 мм.

Следует иметь в виду, что на работоспособность и производительность труда администратора ЛВС и оператора ПЭВМ влияет большое число факторов окружающей среды, отметим основные факторы: соответствие помещения санитарным нормам, окраска стен помещения, шум, освещенность в рабочей зоне администратора и оператора и т. д..

Оценить степень влияния организации рабочего места специалиста (администратора, оператора и т.д.) на производительность его работы и выбрать наилучший вариант для размещения специалиста можно с использованием следующей упрощенной методики:

## 2.9 Упрощенная методика выбора рабочего помещений для размещения персонала

Этап 1. Определяем число рабочих мест специалиста (вариантов,  $j = 1, \dots, m$ ), которые следует сравнить, чтобы выбрать среди них наилучший вариант. Определяем набор факторов ( $i = 1, \dots, n$ ), которые следует учитывать при сравнении вариантов. Определяем реальные значения факторов, которые соответствуют каждому из вариантов..

Этап 2. Присваиваем реальным значениям факторов сравниваемых вариантов строго определенные баллы, согласно вербально-числовой шкале, приведенной в табл. 2.3. При этом наилучшая оценка – 1 балл, а наихудшая оценка – 6 баллов.

Таблица 2.3

Бальная оценка значений факторов, характеризующих инфраструктуру рабочих помещений.

Фактор	Бальная оценка значения фактора					
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов
			Значение фактора			
X1	$30 \leq X_1$	$28 \leq X_1$ $X_1 < 30$	$25 \leq X_1$ $X_1 < 28$	$22 \leq X_1$ $X_1 < 25$	$20 \leq X_1$ $X_1 < 22$	$X_1 < 20$
X2	$200 \leq X_2$	$190 \leq X_2$ $X_2 < 200$	$175 \leq X_2$ $X_2 < 190$	$160 \leq X_2$ $X_2 < 175$	$150 \leq X_2$ $X_2 < 160$	$X_2 < 150$
X3	$22 \leq X_3$ $X_3 < 24$	$24 \leq X_3$ $X_3 < 26$	$20 \leq X_3$ $X_3 < 22$	$18 \leq X_3$ $X_3 < 20$	$26 \leq X_3$ $X_3 < 28$	$28 \leq X_3$ $X_3 < 18$
X4	$45 \leq X_4$ $X_4 < 55$	$40 \leq X_4$ $X_4 < 45$	$35 \leq X_4$ $X_4 < 40$	$X_4 < 35$	$55 \leq X_4$ $X_4 < 65$	$65 \leq X_4$
X5	$X_5 < 50$	$50 \leq X_5$ $X_5 < 53$	$53 \leq X_5$ $X_5 < 56$	$56 \leq X_5$ $X_5 < 60$	$60 \leq X_5$ $X_5 < 62$	$62 \leq X_5$
X6	восток	запад	юго-восток; юго-запад	юг	северо-восток; северо-запад	север

Пояснения к обозначению факторов

X1 – Объем помещения на одного специалиста  $\text{м}^3$ ;

X2 – Естественное освещение в помещении лк;

X3 – Средняя температура воздуха в помещении  $^{\circ}\text{C}$ ;

X4 – Относительная влажность воздуха в помещении %;

X5 – Уровень шума в помещении дБ;

X6 – Направление размещения окон в помещении (восток, запад и т. д.)

Этап 3. Вычисляем интегральную оценку ( $U_j$ ) для  $j$  – го варианта, отражающую условий труда специалиста на  $j$  – м. рабочем месте

$$U_j = \left[ X_{\max j} + \frac{\sum_{i=1}^{n-1} X_{ij}}{n-1} \cdot \frac{6 - X_{\max j}}{6} \right] \cdot 10 \quad (2.9)$$

Где  $X_{\max j}$  - наивысшая оценка в баллах, которую получил наихудший фактор условий труда специалиста для  $j$  – го рабочего места;

$X_{ij}$  - оценка в баллах, которую получил  $i$  - й фактор условий труда специалиста для  $j$  – го рабочего места;



$n$  - количество факторов, которые учитываются при оценке влияния организации рабочего места специалиста на его производительность

Этап 4. Определяем степень утомления специалиста в условных баллах ( $Y_j$ ) в течение рабочего дня при его работе на  $j$  – м рабочем месте

$$Y_j = \frac{U_j - \alpha}{\beta} \quad (2.10)$$

Где  $\alpha, \beta$  - эмпирические коэффициенты, используемые для перевода интегральной оценки условий труда специалиста, вычисленной в условных баллах, в степень утомления специалиста, также выраженную в условных баллах.

$$\alpha = 15,6 \quad \beta = 0,64$$

Этап 5. Определяем уровень работоспособности специалиста в условных баллах ( $R_j$ ) при его работе на  $j$  – ом рабочем месте

$$R_j = 100 - Y_j \quad (2.11)$$

Ранжируем сравниваемые варианты по убыванию показателя  $R_i$ , например,

$$R_l \succ R_1 \succ R_2 \dots, \text{ при этом вариант } l - \text{наилучший.}$$

Этап 6. Определяем прирост производительности труда ( $P$ ) специалиста за один рабочий день при сравнении любых двух вариантов размещения его рабочего места.

$$P = \left[ \frac{R_1}{R_2} - 1 \right] \cdot \gamma \cdot 100\% \quad (2.12)$$

Где  $\gamma$  - эмпирический коэффициент, показывающий степень влияния роста уровня работоспособности специалиста, на производительность его труда. Обычно считают, что  $\gamma = 0,2$  - пессимистическая оценка;  $\gamma = 0,3$  - оптимистическая оценка

Этап 7. Проводим сравнительный анализ полученных результатов для выбора наилучшего варианта рабочего места специалиста или для его реорганизации.

**Пример 2.2.** Проведите сравнение двух вариантов рабочих помещений, под кодовыми наименованиями В1 и В2, для размещения администратора системы и выберите лучший вариант. Исходные данные двух вариантов помещений (В1 и В2) приведены в табл.2.4 (столбец 2 и 3)

Анализ вариантов помещений для размещения администратора системы *Таблица 2.4*

Фактор	Значение фактора		Значение фактора (балл)	
	В1	В2	В1	В2
1	2	3	4	5
X1	25	28	3	2
X2	190	220	2	1
X3	23	25	1	2
X4	45	50	1	1
X5	52	54	2	3
X6	восток	юг	1	4

Решение

1. Присваиваем факторам, отражающим особенности сравниваемых вариантов В1 и В2 рабочих помещений для размещения администратора системы, баллы, согласно табл.2.3 и заносим эти баллы в табл.2.4, столбцы 4 и 5.

2. Вычисляем интегральные оценки условий труда администратора ( $U_1$ ) и ( $U_2$ ), соответственно для вариантов помещений В1 и В2, по формуле (2.9)

$$U_1 = \left[ 3 + \frac{7}{5} \cdot \frac{6-3}{6} \right] \cdot 10 = 37 \qquad U_2 = \left[ 4 + \frac{9}{5} \cdot \frac{6-4}{6} \right] \cdot 10 = 46$$

3. Определяем в условных баллах ( $Y_1$ ) и ( $Y_2$ ), соответственно для вариантов помещений В1 и В2, степень утомления администратора в течение рабочего дня, по формуле (2.10)

$$Y_1 = \frac{U_1 - \alpha}{\beta} = \frac{37 - 15,6}{0,64} = 33,44 \qquad Y_2 = \frac{U_2 - \alpha}{\beta} = \frac{46 - 15,6}{0,64} = 47,5$$

)

4. Определяем в условных баллах ( $R_1$ ) и ( $R_2$ ), соответственно для вариантов помещений В1 и В2, уровень работоспособности администратора в течение рабочего дня по формуле (2.11)

$$R_1 = 100 - Y_1 = 66,56 \qquad R_2 = 100 - Y_2 = 52,5$$

4. Определяем прирост производительности труда ( $P$ ) администратора за один рабочий день при его размещении в помещении В1 по сравнению с помещением В2 по формуле (2.12)

пессимистическая оценка

$$P = \left[ \frac{R_1}{R_2} - 1 \right] \cdot \gamma \cdot 100\% = \left[ \frac{66,56}{52,5} - 1 \right] \cdot 0,2 \cdot 100\% = 5,36\%$$

оптимистическая оценка

$$P = \left[ \frac{R_1}{R_2} - 1 \right] \cdot \gamma \cdot 100\% = \left[ \frac{66,56}{52,5} - 1 \right] \cdot 0,3 \cdot 100\% = 8,04\%$$

5. Анализ полученных результатов показывает, что вариант В1 размещения рабочего места администратора несколько предпочтительнее варианта В2. и позволяет увеличить его ежедневную производительность труда на 5% – 8%

## 2.10 Организация рабочих помещений для размещения оборудования.

Следует также иметь в виду, что помещения, в которых расположены средства АСОИиУ, должны быть оборудованы таким образом, чтобы учесть требования ГОСТ Р 51275-2006 «Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения».

Помещения должны обеспечить защиту находящейся в них информации от утечек по оптическим, акустическим, электромагнитным и материально – вещественным каналам.

Для исключения или существенного уменьшения возможности выхода конфиденциальной информации за пределы контролируемой зоны следует: .:

- установить светонепроницаемые стекла и занавески на окнах;
- размещать мониторы ПЭВМ в зоне недопустимого просмотра информации, размещенной на них, посторонними лицами;
- использовать при облицовке звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы;
- использовать самостоятельную вентиляционную систему;
- экранировать и заземлять все технические средства;
- соблюдать правила внутреннего распорядка при работе с документацией и носителями информации.

Следует провести обязательную аттестацию всех помещений, исключающую наличие и возможное появление в аттестованных помещениях каналов утечки информации.

### **Лекция 3. Выбор технических средств и программного обеспечения АСОИиУ на основе использования методов свертки локальных критериев.**

#### **3.1 Основные этапы и особенности выбора поставщика оборудования**

Процесс выбора оборудования содержит две стадии. Первая стадия включает выбор фирм-поставщиков оборудования, а вторая - выбор спецификации требуемого оборудования, согласно справочных материалов и каталогов фирмы.

Первую стадию, т. е. процесс выбора фирм - поставщиков оборудования, можно представить в виде последовательности следующих этапов:

- 1) определение типов требуемого оборудования, его технических и эксплуатационных характеристик;
- 2) предварительный анализ рынка оборудования;
- 3) составление списка фирм - поставщиков оборудования;
- 4) составление вариантов спецификаций на оборудование по справочным материалам фирм - поставщиков оборудования;
- 5) рассылка спецификаций фирмам - поставщикам оборудования и анализ полученных ответов;
- 6) уточнение и корректировка спецификаций;
- 7) сравнительная оценка коммерческих предложений фирм - поставщиков оборудования;
- 8) выбор наиболее предпочтительных фирм - поставщиков оборудования и заключение с ними договоров на поставку соответствующего оборудования.

Обычно при выборе фирм-поставщиков оборудования учитывают следующие факторы:

- фактор X1 - известность фирмы производителя оборудования, которое поставляется на российский рынок;
- фактор X2 - уровень сервисного обслуживания, который может предложить фирма - поставщик оборудования;
- фактор X3 - уровень организации продаж оборудования, который имеет фирма - поставщик оборудования;
- фактор X4 - соответствие паспортных характеристик приобретаемого оборудования реальным возможностям этого оборудования;
- фактор X5 - показатель эффективности/цена приобретаемого оборудования.

Как правило, при выборе фирм-поставщиков оборудования обычно используют метод экспертных оценок. После выбора фирм-поставщиков (или одной фирмы) следует приступить к выбору оборудования.

#### **3.2 Основные этапы и особенности выбора оборудования**

Принятие решения по выбору оборудования предусматривает наличие цели и критериев выбора, а также альтернативных вариантов, среди которых производится выбор наилучшего варианта оборудования по выбранному критерию.

Критерий – это способ сравнительной оценки альтернативных вариантов, показатель их предпочтительности. Различают: локальные, интегральные и комплексные критерии.

Локальные критерии – это, как правило, технические, и экономические показатели функционирования рассматриваемых альтернативных вариантов оборудования.

Интегральные критерии представляют собой набор локальных критериев и формируются на основе различных правил свертки этих критериев в единый критерий.

Комплексные критерии представляют собой набор интегральных критериев и формируются на основе различных правил свертки этих интегральных критериев в единый критерий.

Процесс выбора варианта оборудования можно представить в виде последовательности следующих этапов:

- 1) составление технических требований, предъявляемых к оборудованию;
- 2) формирование набора альтернативных вариантов оборудования, подлежащих сравнению;
- 3) формирование набора локальных критериев, т. е. показателей, с помощью которых осуществляется сравнение альтернативных вариантов, рекомендуется выбирать не более 10;
- 4) формирование набора недоминирующих вариантов, т. е. вариантов, входящих в множество Парето. Среди них выбирают наилучший вариант;
- 5) определение коэффициентов важности локальных критериев, которые показывают степень превосходства одних критериев перед другими;
- 6) формирование набора интегральных критериев, т.е. правил свертки локальных критериев в единый критерий, для сравнения недоминирующих вариантов и выбора наилучшего среди них;
- 7) формирование порядка использования интегральных критериев;
- 8) последовательное определение количественной оценки сравниваемых вариантов по каждому из выбранных интегральных критериев;
- 9) формирование комплексного критерия, т. е. правила свертки интегральных критериев;
- 10) выбор окончательного варианта оборудования на основе интегрального или комплексного критерия.

Обычно при выборе оборудования в качестве локальных критериев используют его эксплуатационные характеристики:

- производительность (транзакций/с);
- среднее время безотказной работы (тыс.час);
- гарантийный срок работы (месяц);
- потребляемая мощность (кВт);
- простота и удобство настройки рабочих параметров;
- затраты на проведение профилактических работ (час);
- качество технической и эксплуатационной документации;
- стоимость и т. д.

### **3.3 Выбор парето-оптимальных вариантов оборудования.**

Для отсева неэффективных альтернативных вариантов, т. е. вариантов, которые не лучше других рассматриваемых вариантов по всем локальным критериям, следует использовать метод отбора парето-оптимальных вариантов. Такой подход позволяет сократить число вариантов, подлежащих дальнейшему сравнению.

Для практической реализации этого метода рекомендуется использовать следующий алгоритм:

1) строят таблицу исходных вариантов оборудования, подлежащих сравнению. В этой таблице указывают  $X_{ij}$  — численное значение  $j$ -го варианта оборудования по  $i$ -му критерию;

2) строят Парето-оптимальную квадратную таблицу  $A$  размером  $m \times m$ , где  $m$  — число сравниваемых вариантов. Присваивают диагональным элементам таблицы значения, равные нулю, а элементам  $a_{ij}$  — значения  $a_{ij} = 1$ , если вариант  $V_i$  предпочтительнее варианта  $V_j$  по всем критериям, и  $a_{ij} = 0$ , если вариант  $V_i$  уступает варианту  $V_j$  хотя бы по одному критерию. Если в  $j$ -м столбце таблицы  $A$  все элементы нулевые, то соответствующие варианты относятся к Парето-оптимальным, а если есть хотя бы одна единица, то варианты исключают из дальнейшего рассмотрения как неэффективные.

### 3.4 Расчет коэффициентов важности локальных критериев

Для вычисления коэффициентов важности (или весовых коэффициентов) локальных критериев целесообразно применять метод базового критерия. При использовании этого метода выполняют следующие действия:

1) разбивают все множество локальных критериев на группы важности, при этом самые несущественные критерии относим к первой (базовой) группе.

2) составляют уравнение нормировки локальных критериев, согласно которому сумма коэффициентов важности всех локальных критериев должна быть равна единице.

$$\sum_{i=1}^g n_i \cdot k_i \cdot \alpha = 1 \quad (3.1)$$

Где  $g$  - количество групп важности локальных критериев;

$n_i$  - количество локальных критериев, которые входят в состав  $i$ -ой группы

$k_i$  - коэффициент, который показывает степень превосходства критериев

$i$ -ой группы по сравнению с критериями первой группы, при этом  $k_1 = 1$

$\alpha$  - коэффициент важности критериев первой группы, при этом  $\alpha_1 = \alpha \cdot k_1 = \alpha$

3) определяют коэффициент важности ( $\alpha$ ) критериев первой группы

$$\alpha = \left( \sum_{i=1}^g n_i \cdot k_i \right)^{-1} \quad (3.2)$$

4) определяют коэффициенты важности ( $\alpha_i$ ) локальных критериев, входящих в состав  $i$ -ой группы

$$\alpha_i = \alpha \cdot k_i \quad (3.3)$$

5) выполняют проверку условия нормировки локальных критериев

$$\sum_i^g \alpha_i = 1 \quad (3.4)$$

Следует иметь в виду, что

$$\sum_{i=1}^g n_i = n \quad (3.5)$$

Где  $n$  - количество локальных критериев, по которым проводим сравнение альтернативных вариантов оборудования.

### 3.5 Выбор оборудования с использованием интегрального критерия

Наиболее часто используют следующие интегральные критерии выбора наилучшего варианта оборудования из набора альтернативных вариантов. При этом локальными критериями являются показатели, по которым производят сравнение оборудования.

*Критерий 1* — взвешенная сумма, показателей сравнения оборудования:

$$Y_l = \max_{j \in m} \sum_i^n \alpha_i k_{ij} \quad (3.6)$$

где  $n$  — число показателей сравнения;  $m$  — количество вариантов сравнения; сравнение  $j$  вариантов оборудования ( $j = 1, m$ ) осуществляется по  $i$  параметрам ( $i = 1, n$ );  $\alpha_i$  — коэффициент важности  $i$ -го параметра сравнения. При этом обязательно должно быть выполнено условие нормировки критериев (2.4);  $k_{ij}$  — коэффициент нормализации, определяет уровень соответствия  $i$ -го параметра  $j$ -го варианта наилучшему значению,  $0 < k_{ij} \leq 1$ . Наилучшим вариантом оборудования является вариант —  $l$ .

При нормализации критериев типа «чем больше, тем лучше» (например, производительность, гарантийный срок работы и т. д.) коэффициент нормализации находят согласно выражению

$$k_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i^+} \quad (3.7)$$

Для нормализации критериев типа «чем больше, тем хуже» (например, габариты, масса, стоимость и т. д.) коэффициент нормализации определяют из выражения

$$k_{ij} = \frac{X_i^-}{X_{ij}}, \quad (3.8)$$

где  $X_i^+ = \max_j X_{ij}$  — значение  $i$ -го локального критерия, соответствующее

максимальному значению среди сравниваемых вариантов решения;  $X_i^- = \min_j X_{ij}$  —

значение  $i$ -го локального критерия, соответствующее минимальному значению среди сравниваемых вариантов решения.

*Критерий 2* — взвешенное произведение показателей сравнения оборудования:

$$Y_l = \max_{j \in m} \prod_{i=1}^n (k_{ij})^{\alpha_i} \quad (3.9)$$

*Критерий 3* — мера близости показателей сравниваемых вариантов оборудования к идеальному варианту:

$$Y_l = \min_j \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i (1 - k_{ij})^2} \quad (3.10)$$

*Критерий 4* — максиминная свертка или гарантированный результат:

$$Y_l = \max_j \min_i (\alpha_i k_{ij}) \quad (3.11)$$

*Критерий 5* — ранжирование вариантов оборудования по набору показателей сравнения (локальных критериев) по методу Борда:

$$R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} \quad (3.12)$$

$$R_l = \min_j R_j \quad (3.13)$$

где  $r_{ij}$  — ранг (место), который имеет  $j$ -й вариант по  $i$ -му показателю, при этом за первое место дается один балл, за второе — два балла и т. д. Лучшим считают вариант  $l$  с наименьшей суммой рангов  $R_l$ .

При наличии качественных показателей сравнения необходимо использовать вербально-числовые шкалы, позволяющие осуществлять перевод качественных значений в количественные, например типовую вербально-числовую шкалу:

Отлично .....	1
Очень хорошо .....	0,9
Хорошо .....	0,8
Удовлетворительно .....	0,6
Посредственно .....	0,4
Плохо .....	0,2

**Пример 3.1.** Проведите сравнение и ранжирование пяти вариантов серверов по пяти локальным критериям, используя в качестве интегрального критерия взвешенную сумму локальных критериев..

Сервера с кодовыми наименованиями В1—В5 следует сравнить по четырем количественным параметрам (производительность, среднее время безотказной работы, срок гарантии, стоимость) и качественному параметру (качество эксплуатационной документации) Все параметры, по которым осуществляется сравнение серверов, имеют одинаковый коэффициент важности, равный 0,2.

Исходные данные сравниваемых серверов приведены в табл. 3.1.

1

Показатели работы серверов

Таблица 3.1

Показатель работы (локальный критерий)	Значение показателя работы варианта сервера				
	В1	В2	В3	В4	В5
Производительность (транзакций/с)	100	90	80	100	90
Среднее время безотказной работы (тысяч час)	450	500	400	450	500
Срок гарантии (месяц)	24	18	36	24	12
Качество документации	отл	оч.хор	хор	хор	хор
Стоимость (усл ед)	35000	33150	31500	35000	31500

*Решение.* В табл. 3.2 приведены результаты попарного сравнения вариантов с целью отбора среди них парето-оптимальных вариантов.

Таблица 3.2

Сравнение вариантов точек доступа на Парето-оптимальность

Вариант сравнения	Вариант сравнения				
	В1	В2	В3	В4	В5
В1	0	0	0	1	0
В2	0	0	0	0	1
В3	0	0	0	0	0
В4	0	0	0	0	0
В5	0	0	0	0	0
Результат сравнения	0	0	0	1	1
Парето- оптимальность варианта	Да	Да	Да	Нет	Нет

Анализ приведенных данных показывает, что вариант В4 ни по одному показателю не превосходит вариант В1, а вариант В5 ни по одному показателю не превосходит вариант В2. Поэтому варианты В4 и В5 можно исключить из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, задача упрощается: необходимо сравнить только три варианта (В1, В2 и В3) по пяти параметрам и выбрать среди них наилучший вариант.

Для перевода качественных параметров в количественные используем вербально-числовую шкалу, приведенную ранее.

Используя выражения (3.7) и (3.8), преобразуем исходные значения показателей работы вариантов серверов, приведенные в табл. 3.2, в нормализованные значения, которые приведены в табл. 3.3

Нормализованные значения показателей работы серверов *Таблица 3.3*

Показатель работы	Коэффициент важности показателя работы	Нормализованное значение показателя работы варианта точки доступа		
		B1	B2	B3
Производительность	0,2	1,00	0,90	0,80
Среднее время безотказной работы	0,2	0,90	1,00	0,80
Срок гарантии	0,2	0,66	0,50	1,00
Качество документации	0,2	1,00	0,90	0,80
Стоимость	0,2	0,90	0,95	1,00
$Y_j = \sum_i^n \alpha_i k_{ij}$		0,892	0,850	0,880

Оценка интегрального критерия по выражению (3.6) приведена в табл. 3.3. Анализ полученных результатов позволяет представить ранжирование сравниваемых вариантов по степени их предпочтительности в виде  $B1 \succ B3 \succ B2$ , при этом B1 — наилучший вариант.

При сравнении серверов, в качестве локальных критериев, рекомендуют использовать следующие технические параметры сервера:

- тактовая частота и число процессоров и/или ядер в сервере;
- тактовая частота Кэш памяти уровней L1, L2 и L3;
- задержки и объемы Кэш памяти уровней L1, L2 и L3;
- тактовая частота и разрядность внешней шины процессора;
- тактовая частота и разрядность оперативной памяти (ОП);
- количество каналов доступа и объем (ОП);
- тактовая частота и разрядность шин семейства PCI;
- характеристики интерфейса жесткого диска;
- скорость вращения шпинделя жесткого диска;
- среднее время доступа к цилиндру жесткого диска;
- объем Кэш-памяти и памяти жесткого диска;
- число дисковых накопителей в системе.

### 3.6 Выбор оборудования с использованием комплексного критерия

Комплексный критерий можно формировать на основе любого подхода, используемого для получения интегрального критерия. Наиболее часто применяют метод Борда.

Применение комплексного критерия к выбору варианта оборудования предусматривает последовательное выполнение следующих этапов.

Этап 1. Формирование интегральных критериев и расчет их численных значений для каждого сравниваемого варианта оборудования с использованием выражений (3.6 – 3.12).

Этап 2. Парное сравнение исходных альтернативных вариантов оборудования по всем интегральным критериям на Парето – оптимальность и исключение Парето - неоптимальных вариантов оборудования из дальнейшего рассмотрения.

Этап 3. Ранжирование сравниваемых вариантов оборудования по степени их предпочтения по каждому интегральному критерию

Составляем таблицу, в которой число строк ( $n$ ) соответствует количеству используемых интегральных критериев, а число столбцов ( $m$ ) – количеству сравниваемых альтернативных вариантов оборудования. Элемент таблицы ( $r_{ij}$ ) представляет собой ранг, который соответствует  $j$ -му варианту оборудования согласно  $i$ -му интегральному критерию.  $1 \leq r_{ij} \leq m$



Правило заполнения таблицы основано на использовании метода прямого ранжирования вариантов, согласно которому за первое место (наилучшее значение по рассматриваемому критерию) даем один балл, за второе место – два балла и т. д.

Этап 4. Расчет значения комплексного критерия для каждого варианта сравниваемого оборудования, т.е. вычисление суммарного ранга оборудования.

Суммарный ранг ( $R_j$ )  $j$ -го варианта оборудования определяют по формуле (3.12), используя критерий Борда.

Этап 5. Ранжирование вариантов оборудования согласно комплексному критерию, при этом наилучшим вариантом выбора оборудования является вариант ( $l$ ), для которого выполняется условие (3.13).

**Пример 3.2.** Результаты сравнения трех вариантов серверов по пяти интегральным критериям приведены в табл. 3.4. Выберите наилучший вариант сервера из числа сравниваемых, используя подход Борда.

Интегральные критерии сравнения серверов

Таблица 3.4

Интегральный критерий	Значение критерия для варианта сервера		
	B1	B2	B3
Взвешенная сумма локальных критериев	0,92	0,90	0,88
Взвешенное произведение лок критериев	0,14	0,10	0,10
Мера близости показателей сравнения к идеальному значению	0,60	0,65	0,65
Максиминная свертка или гарантированный результат	0,55	0,55	0,55
Сумма рангов варианта сервера с учетом его локальных критериев по методу Бордо	11	9	10

Решение. На основании данных, приведенных в табл. 3.7, составляем таблицу рангов сравниваемых вариантов (см. табл. 3.5), используя приведенное ранее правило ее заполнения.

Ранги вариантов по интегральным критериям

Таблица 3.5

Интегральный критерий	Ранг варианта сервера по критерию		
	B1	B2	B3
Взвешенная сумма показателей сравнения	1	2	3
Взвешенное произведение показателей сравнения	1	2,5	2,5
Мера близости показателей сравнения к идеальному значению	1	2,5	2,5
Максиминная свертка или гарантированный результат	2	2	2
Ранг варианта сервера по набору локальных критериев по методу Бордо	3	1	2
Сумма рангов варианта сервера по набору интегральных критериев	8	10	12
комплексный критерий $r_j = \sum_{i=1}^n r_{ij}$			

Значения комплексного критерия вычислены по формуле (3.12) и приведены в табл. 3.8., последняя строка. Ранжирование вариантов оборудования, проведенное согласно значения комплексного критерия по выражению (3.13), показывает, что оборудование следует расположить в следующем порядке  $B1 \succ B2 \succ B3$ , при этом вариант  $B1$  является наилучшим.

**Лекция 4. Структурированные кабельные системы. Администрирование кабельных систем. Математические методы выбора маршрута прокладки кабельных систем шинной и кольцевой архитектуры для организации АСОИиУ**

**4.1 Основы структурированных кабельных систем**

Структурированная кабельная система (СКС) представляет собой законченную совокупность кабелей связи и коммутационного оборудования, отвечающую требованиям следующих нормативных документов:

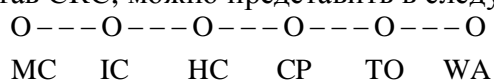
ГОСТ Р 53245–2008 «Системы кабельные структурированные. Монтаж основных узлов системы».

ГОСТ Р 53246–2008 «Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы».

Рассмотрим основные термины, используемые в этих документах:

- кабельная система — совокупность телекоммуникационных кабелей и телекоммуникационных устройств, предназначенных для подключения к ИВС различных сетевых устройств;
- структурированная кабельная система — кабельная система с определенной структурой, состоящая из подсистем и стандартизованных элементов, обеспечивающая технические параметры кабельных линий на заданном уровне и смонтированная исполнителем, имеющим сертификат;
  - пользователь — потребитель, владеющий кабельной системой;
  - канал — кабель, соединяющий две любые единицы сетевого оборудования;
  - горизонтальная кабельная подсистема — кабельная подсистема СКС, включающая телекоммуникационные розетки; горизонтальные кабели; распределительные устройства, установленные в распределительном пункте; коммутационные шнуры и перемычки, подключенные к распределительным устройствам в распределительном пункте;
  - магистральная кабельная подсистема — кабельная подсистема СКС, включающая магистральные кабели и обеспечивающая взаимосвязь с внешними сетями, связь между зданиями, а также связь между разными распределительными пунктами.

Согласно ГОСТ Р 53246–2008, упрощенную схему взаимодействия функциональных элементов, входящих в состав СКС, можно представить в следующем виде:



где: Work area – WA — (рабочее место);

Telecommunications outlet - TO — (телекоммуникационная розетка) ;

Consolidation point - CP — (консолидационная точка);

Horizontal cross - HC — (горизонтальный кросс);

Intermediate cross- IC — (промежуточный кросс);

Main cross - MC — (главный кросс).

СКС содержит следующие виды кабельных подсистем:

- кабельная подсистема рабочего места, соединяющая розетки (ТО) с оборудованием на рабочих местах (WA);
- горизонтальная кабельная подсистема, соединяющая горизонтальные кроссы (HC) с телекоммуникационными розетками (ТО);
- магистральная кабельная подсистема второго уровня, соединяющая промежуточные кроссы (IC) с горизонтальными кроссами (HC);
- магистральная кабельная подсистема первого уровня, соединяющая главный кросс (MC) с промежуточными кроссами (IC).

## **4.2 Правила построения структурированных кабельных систем**

Рассмотрим основные правила построения СКС:

- магистральная кабельная подсистема может содержать только один главный кросс;
- все горизонтальные кроссы соединяются с главным кроссом напрямую или через промежуточные кроссы;
- между любым горизонтальным кроссом и главным кроссом должно быть не более одного промежуточного кросса;
- между двумя любыми горизонтальными кроссами может быть не более трех коммутационных центров;
- коммутационные центры магистральной кабельной подсистемы должны располагаться в помещениях телекоммуникационной или аппаратной;
- оборудование горизонтального кросса должно размещаться в телекоммуникационной, промежуточного кросса — в аппаратной, а оборудование главного кросса — в помещении городского ввода;
- зона, обслуживаемая консолидационной точкой, должна содержать не более 12 рабочих мест;
- кабельная подсистема рабочего места (ТО — WA) должна иметь длину не более 10 м;
- горизонтальная кабельная подсистема (НС — ТО) должна иметь длину не более 90 м;
- магистральная подсистема здания (IC — НС) должна иметь длину не более 300 м;
- совместная магистральная подсистема здания и кампуса (МС — НС) должна иметь длину не более 2 000 м.

## **4.3 Преимущества и недостатки структурированных кабельных систем**

Структурированные кабельные системы по сравнению с обычными кабельными системами обладают следующими преимуществами:

- наличием единой кабельной системы для передачи данных, голоса и видео;
- применением на рабочих местах универсальных розеток;
- возможностью длительной эксплуатации кабельной системы;
- уменьшением затрат времени на поиск и устранение неисправностей;
- модульностью построения СКС, что позволяет наращивать число компонентов и подключать оборудование в любой точке здания без существенных затрат на дополнительные монтажные работы;
- использованием стандартных компонентов и оснастки;
- минимальной численностью обслуживающего персонала;
- возможностью создания сети с комбинированной структурой, когда в одной сети используются волоконно-оптический и медный кабели;
- минимизацией финансовых затрат при изменении конфигурации кабельной системы в случае ее модернизации или реорганизации.

К недостаткам СКС следует отнести высокую стоимость создания и большой срок окупаемости.

Структурированные кабельные системы целесообразно создавать в основном для ЛВС, насчитывающих не менее 50 рабочих мест. При построении СКС кабель обычно рекомендуют прокладывать у потолка в подвесных кабельных лотках или в коробах под фальшполом.

Сравнительный анализ различных вариантов прокладки кабеля показывает их следующие достоинства и недостатки:

- при прокладке у потолка в подвесных кабельных лотках кабель более доступен для устранения неполадок, но требуется большое количество крепежных приспособлений;
- при прокладке под фальшполом устранение неполадок можно проводить только в нерабочее время, но при этом требуется небольшое число крепежных приспособлений.

#### **4.4 Виды гарантий структурированных кабельных систем**

Производители СКС обычно предоставляют три вида гарантийных обязательств: базовую гарантию, системную гарантию, гарантию работы приложений.

Базовая гарантия означает, что ни один компонент кабельной системы не имеет производственных дефектов и при использовании в соответствии с техническими условиями прослужит время, указанное производителем.

Системная гарантия предоставляется только на СКС, установленную по всем правилам. Срок этого вида гарантии определяется производителем и может составлять 15–25 лет.

Гарантия работы приложений означает, что правильно смонтированная и установленная СКС способна поддерживать работу приложений.

Документом, подтверждающим наличие у СКС гарантии того или иного вида, является сертификат производителя установленного им образца.

#### **4.5 Установка и эксплуатация структурированных кабельных систем**

Эксплуатация и обслуживание СКС требует меньше средств по следующим причинам:

- уменьшается штат сотрудников по обслуживанию кабельной системы;
- минимизируются затраты на поиск неисправностей в кабельной системе и восстановление ее работоспособности;
- минимизируются затраты на переконфигурацию кабельной системы;
- минимизируются затраты на подключение нового оборудования при модернизации и реорганизации сети.

Согласно нормативным документам, в СКС рекомендуется использовать следующие типы кабелей:

- кабели «неэкранированная витая пара» категорий 3, 5, 5Е, 6 и т. д.;
- кабели «экранированная витая пара»;
- волоконно-оптические кабели, которые конструктивно должны быть построены на основе многомодовых оптических волокон 50/125 или 62,5/125 мкм или одномодовых оптических волокон 10/125.

ГОСТ Р 54429-2011 запрещает использование в конструкции кабелей СКС «витая пара» проводников с диаметром токопроводящей жилы менее 0,5 мм., при этом достаточно широко в составе СКС используются кабели 23AWG с диаметром токопроводящей жилы примерно 0,56 мм.

Перечислим основные рекомендации по установке и монтажу СКС:

- тип кабельной проводки СКС следует выбирать с учетом всех предъявляемых к ней требований и числа рабочих мест сети;
- СКС следует устанавливать с учетом увеличения числа рабочих мест на 30 % и объема информационных потоков в 2 раза;
- каждое рабочее место должно быть оснащено двумя абонентскими розетками типа RJ45, поэтому к такому рабочему месту необходимо

проложить два кабеля типа «витая пара» для соединения указанных розеток с коммутационной панелью;

- следует предусмотреть резервные рабочие места с розетками,
- перед монтажом кабелей СКС следует их проверять на соответствие паспортным значениям ключевых характеристик данного типа кабеля;
- при построении скоростных сетей, построенных на базе СКС, следует учитывать допустимую длину кабельного тракта. Так, например, для ЛВС 10 Gigabit Ethernet на базе кабелей «витая пара» категории 6, за счет увеличенного затухания сигнала в кабеле, суммарная протяженность участка, состоящего из кабельной подсистемы рабочего места плюс горизонтальной кабельной подсистемы, должна быть снижена до 37 м или 55 м (в зависимости от уровня помех) по сравнению с обычными 100 м.;
- исходное заполнение коробов кабелями должно быть не более 50 %;
- приобретая или арендуя здание и помещения с уже установленной СКС, обязательно изучите строительную, технологическую и эксплуатационную документацию на СКС, чтобы минимизировать затраты на ее эксплуатацию, модернизацию и дальнейшее развитие;
- при установке СКС не следует нарушать правила электромагнитной совместимости. Все прочие кабели и даже лампы дневного света должны находиться на расстоянии не менее 60 см от информационных кабелей;
- прокладка силовых кабелей в коробах СКС не допускается;
- не допускается прокладка СКС вблизи отопительной системы;
- для СКС нужны технологические помещения;
- на практике с учетом перспектив развития фирмы целесообразно использовать методику поэтапного внедрения и финансирования СКС.

За срок эксплуатации АСОИиУ с целью удовлетворения потребностей пользователей часто переходят на более производительную и отказоустойчивую платформу, используют оптоволокно.

При установке и использовании СКС одна из основных проблем – это ускорение процесса сертификации кабельной инфраструктуры.

#### **4.6 Процесс сертификации структурированных кабельных систем**

Рассмотрим основные особенности процесса сертификации СКС

Процесс сертификации СКС включает шесть этапов: это планирование СКС, настройка СКС, тестирование СКС, диагностика и устранение неисправностей СКС, составление отчетности, приемка СКС в эксплуатацию;

- планирование СКС включает разработку схемы прокладки СКС, установку и монтаж кабельной системы, т.е. ее инсталляцию;
- настройка СКС предназначена для конфигурирования всех средств СКС в единую систему в соответствии с заданными параметрами и с учетом требований технического задания;
- тестирование СКС предназначено для оценки качества функционирования кабельной системы и полного соответствия параметров кабельной инфраструктуры требованиям технического задания;
- диагностика и устранение неисправностей СКС предназначено для поиска отдельных некорректностей и несоответствий кабельной системы техническому заданию, выявления причин неисправностей, допущенных в процессе установки и монтажа СКС, быстрому и квалифицированному их устранению;

- составление отчетности предназначено для оформления, согласования и утверждения технической и эксплуатационной документации, касающейся установки, монтажа, тестирования, обслуживания кабельной системы и поддержания работоспособности всей кабельной инфраструктуры в процессе ее функционирования;
- приемка СКС в эксплуатацию представляет собой проведение приемо-сдаточных испытаний кабельной системы в соответствии с утвержденной методикой их проведения, оформление и утверждение документов, подтверждающих правомерность ввода кабельной системы в промышленную эксплуатацию.

Оптимизация процесса сертификации СКС и ускорение процесса сдачи кабельной системы в эксплуатацию предусматривают выполнение следующих рекомендаций:

- составление и четкое выполнение план-графика процесса сертификации; СКС;
- использование квалифицированных специалистов;
- согласованность действий всех специалистов, отвечающих за установку кабельной инфраструктуры АСОИиУ и ее обслуживание, в частности менеджера проекта, инсталлятора кабельной системы, инженера монтажника, инженера по обслуживанию, администратора сети.

#### **4.7 Администрирование кабельных систем**

Администрирование кабельных систем включает методы маркировки, идентификации, документирования и эксплуатации, необходимые для отражения изменений, происходящих в кабельной системе.

С точки зрения администрирования возможны два типа кабельных систем: распределенные и централизованные.

В распределенных системах коммутация отдельных сегментов сети производится в этажных распределительных пунктах, куда сходятся отдельные кабели от рабочих мест и где сосредоточены кросс - панели и активное сетевое оборудование.

В централизованных системах администрирования все кабели от рабочих мест направлены в одно место здания. При этом на этажах могут быть оставлены кросс - панели или другие коммутационные средствами, не требующие обслуживания

Промышленная эксплуатация АСОИиУ постоянно вызывает необходимость внесения изменений в схему подключения оборудования, а также коррекцию схемы кабельного хозяйства. Поэтому администратор СКС обязан отслеживать все изменения, происходящие в системе, и отражать их в соответствующих журналах учета.

Основное назначение системы администрирования СКС - это снижение расходов на обслуживание кабельной системы. Администрирование СКС предполагает выполнение следующих процедур:

- присваивание уникальных идентификаторов компонентам СКС;
- оформление записей (паспортов) для всех присвоенных идентификаторов;
- определение взаимных ссылок записей с целью получения содержащейся в них информации.

Введем ряд пояснений.

Идентификатор присваивается каждому элементу СКС для создания связи этого элемента с его записью.

Запись - это полная информация об определенном элементе СКС.

Ссылки - это логические связи между идентификаторами и записями или между двумя записями в том случае, когда существует необходимость привязки одного идентификатора к другому.

Маркировка – это нанесение на элемент СКС идентификатора, которая должна выполняться одним из двух методов: надежным креплением меток к элементу или нанесением маркировки непосредственно на элемент

При администрировании кабельной системы следует соблюдать следующие рекомендации:

- идентичные кабели, соединенные с помощью механического сращивания, следует рассматривать как один кабель;
- каждый горизонтальный кабель должен быть маркирован с обоих концов;
- каждому элементу СКС должен быть присвоен уникальный идентификатор;
- кабели следует маркировать на лицевой панели розеток.

К функциональным элементам СКС, подлежащим администрированию, относятся:

- горизонтальная кабельная подсистема;
- магистральная кабельная подсистема;
- трассы и помещения, где расположены элементы СКС.

#### **Основные правила администрирования трасс:**

- каждой трассе рекомендуется присваивать уникальный идентификатор,
- если трасса состоит из нескольких сегментов, то рекомендуется присваивать уникальный идентификатор каждому из этих сегментов;
- рекомендуется наносить маркировку на все концы трасс, расположенных в телекоммуникационных, аппаратных и городских вводах;
- в промежуточных точках, где соединяется несколько трасс, рекомендуется маркировать конец каждой трассы;
- в записи трассы рекомендуется регистрировать: идентификатор трассы и тип трассы;

#### **Основные правила администрирования пространств/помещений:**

- пространства/помещения – это аппаратные, телекоммуникационные, рабочие места, городские вводы, т. е. области, в которых может быть расположено телекоммуникационное оборудование и кабельная система;
- в случае внесения изменений в пространства/помещения все соответствующие записи должны быть обновлены;
- записи пространств/помещений должны содержать информацию о кабельной системе, коммутационном оборудовании и системе заземления, которые в них расположены;.

#### **Основные правила администрирования кабельной системы:**

- в состав записи элемента кабельной системы рекомендуется включать полную информацию, относящуюся к этому элементу;
- на поэтажных планах должны быть показаны места расположения всех телекоммуникационных розеток;
- на чертежах рекомендуется показывать маршруты прохождения всех кабелей и места расположения всех муфт;

#### **Основные правила администрирования кабелей:**

- каждому кабелю должен быть присвоен, и нанесен на кабель, уникальный идентификатор для обеспечения ссылки на запись кабеля;

- идентичные кабели, соединенные с помощью муфты, при администрировании должны рассматриваться как один кабель;
- администрирование для коммутационных и аппаратных шнуров не требуется;
- кабели горизонтальной и магистральной подсистем должны быть маркированы с двух концов;
- рекомендуется маркировать кабели с помощью меток, прикрепляемых на концах кабеля, а не сам кабель,;

#### **Основные правила администрирования коммутационного оборудования :**

- каждой единице коммутационного оборудования должен быть присвоен, уникальный идентификатор, который должен служить ссылкой на запись, относящуюся к этому коммутационному оборудованию;
- идентификатор должен быть нанесен на каждую позицию коммутационного оборудования;
- в записи, относящейся к каждой единице коммутационного оборудования и принадлежащих ему позиций, должны быть зарегистрированы:
  - идентификатор коммутационного оборудования;
  - ссылки на записи кабелей;
  - ссылки на записи помещений.

Администрирование кабельных систем сводится к выработке правил оформления текущих изменений и применению средств маркировки, помогающих избежать хаоса в кабельной системе. Это предусматривает инвентаризацию средств АСОИиУ, аккуратную идентификацию элементов и тщательное ведение записей по всем компонентам, составляющим кабельную систему.

Администраторам СКС рекомендуется использовать базы данных, поскольку в этом случае они имеют возможность оперативно получить информацию по целому ряду запросов, например:

- есть ли свободные линии в комнате № XXX?
- к какому порту VVV какого коммутатора WWW подключен пользователь YYY?
- какие порты устройства ZZZ свободны?

К типовым способам увеличения эффективности администрирования кабельных систем следует отнести следующие:

- цветовая маркировка используемая в соответствии с положениями стандарта TIA/EIA-606-A;
- текстовая или символьная маркировка;
- индивидуальная маркировка компонентов, используемая на этапе монтажа СКС в соответствии с утвержденным проектом.

Так для обозначения 10-гигабитного оборудования используется цвет морской волны, как в случае использования «оптоволокон», так и «витой пары». В стандарте TIA/EIA-568-B нормирована цветовая кодировка оптических разъемов.

Количество типовых маркирующих цветов в оборудовании различных производителей СКС обычно варьируется от четырех до восьми, реже используется палитра из 12 цветов. Расширение палитры цветов возможно, но нецелесообразно, так как контраст между уже нормированными и вновь вводимыми цветами окажется невелик. Поэтому существенным недостатком классической цветовой кодировки является ее чрезвычайно малая эксплуатационная гибкость.

Элементы текстовой и символьной маркировки обычно используют для облегчения поиска нужных розеток и разъемов коммутационной панели.



## Лекция 5. Основные принципы и правила монтажа кабельных систем на основе витой пары и оптоволокну. Оценка качества функционирования кабельных систем на основе витой пары и оптоволокну.

### 5.1 Основные параметры кабельных систем на витой паре.

В АСОИиУ, построенных на базе ЛВС Ethernet, в качестве физической среды передачи данных часто используется кабель «неэкранированная витая пара» (НВП), обозначаемый как UTP (Unshielded Twisted Pair), или кабель «экранированная витая пара» (ЭВП), обозначаемый STP (Shielded Twisted Pair).

Характеристики кабелей «витая пара» для ЛВС Ethernet приведены в табл. 5.1

Таблица 5.1

Значения параметров кабельной системы «витая пара»

Параметр кабельной системы	Значение параметра для категории витой пары					
	5	5 E	6	6A	7	7A
	Значение параметра для класса витой пары					
	–	D	E	EA	F	FA
Диапазон частот, МГц	1–100	1–100	1–200	1–500	1–600	1–1 000
Переходное затухание сигнала на ближнем конце кабеля, дБ	25,3	30,1	39,8	39,8	62,9	64
Отношение сигнал/ шум, дБ	10	12	18,6	18,6	42,1	46,1
Вносимые потери, дБ	25	24	21,1	20,9	20,8	20,3
Возвратные потери, дБ	8	10	12	12	12	12
Диаметр кабеля, мм	5,6	5,6	5,72	9,00	7,24	8,36
Минимальный радиус изгиба кабеля, мм	20,00	20,00	25,40	36,00	58,00	67,00
Срок эксплуатации, лет	5–8	8–10	10	10	15	25

К категориям 5, 5E, 6A и 7A относятся кабели НВП, а к категориям 6 и 7 — кабели ЭВП. Особенности кабелей ЭВП заключаются в следующем:

- кабель категории 6 имеет общий экран, фольга обмотана вокруг всех четырех пар;
- кабель категории 7 имеет индивидуальные экраны у каждой пары (фольга обмотана вокруг каждой витой пары) и общий экран (фольга обмотана вокруг всех четырех пар);

Кабель «витая пара» состоит из четырех пар проводов, т. е. восьми проводов, скрученных попарно.

Рассмотрим основные электрические параметры кабеля «витая пара». Например, кабель НВП категории 5A имеет следующие параметры:

- общий диаметр четырех пар проводов 6 мм;
- диаметр медного провода (одной жилы) 0,51 мм;
- волновое сопротивление пары равно  $100 \pm 15$  Ом;
- сопротивление жилы 30 Ом/км;
- емкость витой пары 46 пФ/м.

Скорость распространения электрического сигнала в кабеле равна 200 м/мкс, поэтому в кабеле длиной 100 м сигнал будет задерживаться на 0,5 мкс.

### 5.2 Наводки в кабельных системах на витой паре.

В кабеле «витая пара» имеют место внутрикабельные и межкабельные наводки. Внутрикабельные наводки:

- наводки на ближнем конце кабеля от соседних витых пар этого же кабеля;

- наводки на дальнем конце кабеля от соседних витых пар этого же кабеля.

Межкабельные наводки:

- помехи, наводимые на сигналы, передаваемые по кабелю, сигналами от соседних кабелей, проложенных в этом же кабельном канале;
- помехи, наводимые на сигналы, передаваемые по кабелю, сигналами от кабелей, проложенных на недопустимо близких расстояниях от этого кабеля.

К основным способам снижения межкабельных наводок относят:

- увеличение расстояния между витыми парами (так устроены кабели категории 6А, которые имеют увеличенный внешний диаметр);
- уменьшение шага скрутки (так устроены кабели категории 6А и 7А);
- экранирование витых пар кабеля (так устроены кабели категории 6 и 7).

### 5.3 Обжим проводов кабельных систем на витой паре.

Обжим проводов кабеля НВП категории 5 в разъеме Rj-45 проводится в соответствии со стандартами T568A и T568B (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Стандарты обжима проводов «витая пара»

Номер контакта	Стандарт T568A		Стандарт T568B	
	Цвет провода	Номер пары	Цвет провода	Номер пары
1	Бело-зеленый	3	Бело-оранжевый	2
2	Зеленый	3	Оранжевый	2
3	Бело-оранжевый	2	Бело-зеленый	3
4	Голубой	1	Голубой	1
5	Бело-голубой	1	Бело-голубой	1
6	Оранжевый	2	Зеленый	3
7	Бело-коричневый	4	Бело-коричневый	4
8	Коричневый	4	Коричневый	4

В ЛВС 10Base-T и ЛВС 100Base-TX пара 2 кабеля «витая пара» используется на передачу, а пара 3 — на прием. В ЛВС 100Base-T4 используются пары 1–4 кабеля «витая пара»: пары 1 и 4 — на прием и передачу, пара 2 — только на передачу, пара 3 — только на прием.

Для определения правильности подключения проводов кабеля к контактам разъема Rj-45 применяют кабельные тестеры и тестеры, которые позволяют найти следующие одиночные ошибки монтажа:

- обрывы и короткие замыкания проводов в паре;
- замыкание между проводами разных пар;
- неправильную полярность пары проводов (провода в паре перепутаны с одной стороны);
- перепутанные пары проводов (две пары проводов с одной стороны подключены правильно, но перепутаны местами с другой стороны);
- перепутанные провода между парами проводов (в каждой из двух пар один провод перепутан с проводом другой пары).

### 5.4 Правила монтажа кабельных систем на витой паре.

Для обеспечения надежной работы кабельной системы ЛВС нужно соблюдать следующие рекомендации по прокладке кабелей:

- кабельный канал должен быть заполнен кабелями не более чем на 40..50% для того, чтобы избежать растяжения кабеля и изменения его технических характеристик;
- в трубопроводе диаметром 21 мм следует прокладывать не более двух кабелей категории 6 или не более одного кабеля категории 6А;
- для прокладки двух кабелей категории 6А трубопровод должен иметь диаметр не менее 25,4 мм, а четырех кабелей — не менее 32 мм;
- точки крепления кабеля при его монтаже должны быть расположены на расстоянии не более чем 1,5 м одна от другой, при этом расстояние выбирают так, чтобы нагрузка кабеля не превышала 0,7 кг/м;
- при стяжке нескольких кабелей в единый жгут ширина устройства, используемого для стяжки, должна составлять более 4 мм;
- допустимый радиус изгиба кабеля ограничивается для горизонтальной кабельной проводки четырьмя внешними диаметрами кабеля, при этом изгиб кабеля должен быть не менее 90°;
- прокладку кабеля ЛВС и силовую проводку следует располагать в разных коробах. Расстояние между этими проводками должно быть:
  - более 50 см, если длина их параллельного монтажа меньше 1,5 м;
  - более 1 м, если длина их параллельного монтажа больше 1,5 м;
- рекомендуется предусматривать создание запаса кабеля на обоих его концах с целью обеспечения возможности внесения изменений в будущем, при этом запас кабеля следует делать в виде "U"-образных петель с соблюдением минимального радиуса изгиба;
- при использовании фальшпотолков кабельные лотки должны быть расположены на высоте не ниже 2,4 м над уровнем чистого пола;
- не рекомендуется использовать в качестве средств поддержки кабеля элементы структуры фальшпотолка;
- в поверхностных коробах радиус изгиба кабелей должен составлять не менее 25 мм при максимально допустимом коэффициенте заполнения;
- при протяжке кабеля через закрытую трассу длиной свыше 30 м или трассу, имеющую более двух поворотов с углами 90°, рекомендуется использовать специальные приспособления;
- после монтажа кабеля не допускается его натяжение за исключением вертикальных сегментов, когда остаточное натяжение может быть вызвано собственной массой кабеля.

Приведенные рекомендации по прокладке кабелей «витая пара» направлены:

- на предотвращение различных механических напряжений в кабеле, вызываемых натяжением, резкими изгибами и чрезмерным стягиванием пучков кабеля;
- на устранение внешнего негативного воздействия на кабель, вызываемого его перекручиванием во время монтажа, растягиванием кабельных пучков под действием собственного веса, туго затянутыми кабельными хомутами, резкими изгибами кабеля.

### **5.5 Показатели оценки качества кабельных систем на витой паре.**

Кабель НВП с разъемами RJ-45 на его концах, соединяющий два узла ЛВС, называют каналом связи. При тестировании канала связи обычно определяют следующие его параметры:

- полосу пропускания, определяющую рабочий диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по кабелю без значительных искажений, МГц;
- затухание сигнала ( $A_c$  -Attenuation), определяемое как уменьшение мощности сигнала при передаче его от источника к адресату по каналу связи на заданной частоте, дБ;
- помехоустойчивость, определяющую способность кабеля уменьшать уровень помех, создаваемых внешней средой на внутренних проводах кабеля, дБ;

- абсолютный уровень мощности сигнала, исходящего из источника, мВт. В качестве базового значения мощности сигнала принимают значение, равное 1 мВт;
- абсолютный уровень мощности сигнала, поступающего на вход адресата, мВт. В качестве базового значения мощности сигнала принимают значение, равное 1 мВт;
- перекрестное затухание сигнала на ближнем конце кабеля (NEXT — Next End CrossTalk), определяющее помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех у источника, дБ;
- перекрестное затухание сигнала на дальнем конце кабеля (FEXT — Far End CrossTalk), определяющее помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех у адресата, дБ;
- отношение мощности сигнала к мощности шума на входе источника (ACR — Attenuation to CrossTalk Ratio), дБ;
- пропускную способность, характеризующую максимально возможную скорость передачи данных по кабелю, бит/с;
- достоверность передачи данных, отражающую вероятность появления ошибок в канале. Определяется величиной, обратной среднему количеству бит, которые передаются без ошибок, бит<sup>-1</sup>.

Параметры канала связи вычисляют согласно следующим выражениям:

- затухание мощности электрического сигнала в каждой витой паре:

$$A_c = 10 \lg \left( \frac{P_a}{P_{\text{и}}} \right) < 0, \quad (5.1)$$

где  $P_{\text{и}}$  — мощность сигнала на выходе источника, мВт;  $P_a$  — мощность сигнала на входе адресата, мВт;

- переходное затухание на ближнем конце кабеля, т. е. у источника:

$$\text{NEXT} = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{н.и}}}{P_{\text{и}}} \right) < 0, \quad (5.2)$$

где  $P_{\text{н.и}}$  — мощность сигнала, который наводится на соседней витой паре у источника, т. е. в начале канала связи;

- переходное затухание на дальнем конце кабеля, т. е. у адресата:

$$\text{FEXT} = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{н.а}}}{P_{\text{и}}} \right) < 0, \quad (5.3)$$

где  $P_{\text{н.а}}$  — мощность сигнала, который наводится на соседней витой паре у адресата, т. е. в конце канала связи;

- отношение мощности сигнала к мощности шума (защищенность кабеля на ближнем конце, т. е. у источника):

$$\text{ACR} = A_c - \text{NEXT} = 10 \lg \left( \frac{P_a}{P_{\text{н.и}}} \right) \quad (5.4)$$

Для обеспечения качественной передачи данных через канал связи значение коэффициента ACR должно составлять не менее 10 дБ, поэтому мощность входного сигнала должна быть больше мощности сигнала, который наводится от соседней пары, в 10 раз и более.

Следует иметь в виду, что уменьшение в 2 раза мощности сигнала, передаваемого по каналу связи, соответствует его ослаблению на 3 дБ, например:

$$A_c = 10 \lg \left( \frac{P_a}{P_{\text{и}}} \right) = 10 \lg \left( \frac{100}{200} \right) = 10 (\lg 100 - \lg 200) = -10 \lg 2 = -3 \text{ дБ.}$$

**Пример 5.1.** Определите для ЛВС 100 Base TX качество кабеля, построенного на базе НВП категории 5 при следующих исходных данных:

- затухание сигнала в кабеле на расстоянии 100 м  $A_c = -22$  дБ;

• переходное затухание на ближнем конце кабеля NEXT = -35 дБ.

*Решение.* Определяем отношение мощности сигнала к мощности шума используя формулу (3.4)

$$ACR = 10 \lg \left( \frac{P_a}{P_{н.и}} \right) = A_c - NEXT = (-22) - (-35) = 13 \text{ дБ}$$

Поскольку  $ACR > 10$  дБ, кабель хорошего качества и ЛВС работоспособна.

### 5.6 Символическое обозначение кабельных систем на витой паре.

Символическая запись обозначения экранированных витых пар имеет вид X/YTP, где X — наличие общего экрана для всех четырех пар; Y — наличие индивидуального экрана для каждой витой пары.

Типы экранов: S — оплетка; F — фольга; F<sup>2</sup> — двойная фольга; U — нет экрана. Типовые виды кабелей «витая пара» UTP, STP, S/STP, S/FTP, F/STP, F/FTP.

**Пример 5.2** Приведите символическую запись обозначения экранированной витой пары, у которой общим экраном для всех четырех пар является фольга, а индивидуальным экраном для каждой витой пары – оплетка.

*Решение.* Витая пара имеет следующую символическую запись F/STP

### 5.7 Состав и структура кабельных систем на основе оптоволоконна.

В канал связи на основе оптоволоконна входят

- оптический приемопередатчик (ОПП) для перевода электрического сигнала в световой и наоборот;
- оптический коннектор(КН) для связи приемопередатчика с оптическим кабелем;
- оптоволоконный кабель (ОК) для передачи светового сигнала.

. Обычно используют оптические приемопередатчики следующих типов:

- лазерный диод, создающий сконцентрированный пучок лучей с длиной волны  $\lambda = 1550 \text{ нм}$  (1,55 мкм) или  $\lambda = 1310 \text{ нм}$  (1,31 мкм);
- световой диод (светодиод), создающий распыленный пучок лучей с длиной волны  $\lambda = 1310 \text{ нм}$  или  $\lambda = 850 \text{ нм}$  (0,85 мкм).

Для подключения ОПП к ОК используют коннектор. Коннекторы бывают плоскими (SC), круглыми (ST) и резьбовыми (FC) и имеют отполированный наконечник. От вида полировки зависит качество контакта коннектора. Основные виды полировки коннекторов приведены в табл. 5.3

Виды полировки коннекторов Таблица 5.3

Вид полировки коннектора	Контакт коннектора
PC (Physical Contact)	Обычный физический контакт
SPC (Super PC)	Суперконтакт
UPC (Ultra PC)	Контакт высшего качества
APC (Angle PC)	Контакт наивысшего качества

Оптоволоконный кабель имеет сложную структуру и содержит следующие компоненты:

- оптические волокна;
- заполнители в виде пластмассовых нитей;
- упрочняющие элементы;
- армирующие элементы, увеличивающие стойкость кабеля;
- наружное защитное покрытие, т. е. оболочку, предохраняющую кабель от влаги, вредных веществ и внешних механических воздействий.

Такая конструкция кабеля объясняется тем, что срок службы ОК должен составлять не менее 25 лет. Различают ОК для внутренней и для наружной прокладки.

В зависимости от конструктивного исполнения ОК бывают трех видов: профильные, трубчатые и ленточные.

Профильный кабель — это пластмассовый стержень с прямоугольными пазами, в которых расположены оптические волокна.

Трубчатый кабель имеет вид трубки, где расположены оптические волокна.

Ленточный кабель представляет собой плоскую ленту с параллельно уложенными оптическими волокнами на определенном расстоянии друг от друга. Обычно кабели содержат от 2 до 24 волокон, но выпускают кабели и с большим числом волокон.

Кабель имеет небольшой внешний диаметр. Так, ОК, состоящий из 144, волокон имеет внешний диаметр около 12 мм.

Различают следующие типы волокон, входящих в состав ОК:

- одномодовое волокно (SM), в котором диаметр сердцевины равен  $10 \pm 1$  мкм, а диаметр наружной части оболочки, внутри которой распространяется свет, составляет  $125 \pm 3$  мкм. Обозначение такого одномодового волокна имеет вид 10/125;
- многомодовое волокно (MM), в котором диаметр сердцевины равен  $62,5 \pm 3$  мкм или  $50 \pm 3$  мкм, а диаметр наружной части оболочки, внутри которой распространяется свет, составляет  $125 \pm 3$  мкм. Обозначение многомодового волокна, соответственно, имеет вид 62,5/125 или 50/125. С этим волокном используются в основном светодиодные приемопередатчики, реже лазерные.

В одномодовых волокнах применяются коннекторы с видами полировки PC, SPC, UPC, APC, а в многомодовых — только вида PC.

Оболочка оптического кабеля на базе одномодового волокна имеет желтый цвет, а на базе многомодового волокна — оранжевый.

Дальность канала связи по оптическому кабелю зависит от типа волокна и типа используемого приемопередатчика (табл. 5.4).

Таблица 3.4

Дальность канала связи кабельной системы на основе оптоволокон

Тип волокна	Дальность канала связи, км, в зависимости от типа используемого приемопередатчика (диода) и волокна	
	Светодиод	Лазерный диод
Многомодовое волокно	1–2	8–10
Одномодовое волокно	Не используется	35–40

### 5.8 Маркировка кабельных систем на основе оптоволокон.

Для маркировки ОК используют символику следующего вида:

a-b-c-d-e,

где a — символ, обозначающий тип оптического кабеля;

b — символ, указывающий диаметр сердцевины оптического кабеля;

c — символ, указывающий вариант разработки оптического кабеля;

d — символ, указывающий величину затухания сигнала кабеля на расстоянии 1 км;

e — символ, указывающий количество волокон в оптическом кабеле.

Если маркировка кабеля имеет вид ОН-50-1-5-2, то это означает:

- оптический кабель линейный;
- диаметр сердцевины 50 мкм (многомодовое волокно);
- кабель разработки вида 1 с наружной оболочкой из поливинилхлорида;
- затухание светового сигнала в кабеле не более 5 дБ/км;
- кабель состоит из двух оптических волокон.

### 5.9 Расчет потери мощности в кабельной системе на основе оптоволоконна.

При передаче светового сигнала по оптическому кабелю основные потери мощности этого сигнала в канале связи складываются из следующих составляющих.

1. Потери мощности светового сигнала в коннекторе (для одного коннектора) приведены в табл. 5.5.

Потери мощности сигнала в коннекторе оптоволоконна Таблица 5.5

Сочетание параметров	Тип волокна			
	Многомодовое	Одномодовое		
Покрытие коннектора	PC	PC	SPC	UPC
Потери мощности сигнала в коннекторе, дБ	0,75	0,4	0,3	0,2

2. Потери мощности сигнала по мере прохождения по оптоволокну (граничные значения этих потерь на 1 км длины ОК приведены в табл. 5.6).

Таблица 5.6

Потери мощности сигнала от длины световой волны и диаметра волокна

Тип волокна	Диаметр волокна, мкм	Длина световой волны, нм	Затухание сигнала, дБ/км
Многомодовое	62,5	850	$\leq 2,8$
		1310	$\leq 0,6$
Многомодовое	50,0	850	$\leq 2,4$
		1310	$\leq 0,5$
Одномодовое	10,0	1310	$\leq 0,4$
		1550	$\leq 0,25$

Потери мощности  $P_\lambda$  светового сигнала в ОК, приходящиеся на 1 км его длины, в зависимости от длины волны  $\lambda$ , излучаемой приемопередатчиком, определяются из выражения

$$P_\lambda = K_p \lambda^{-4}, \quad (5.5)$$

где  $K_p = 0,8 \text{ мкм}^4 \cdot \text{дБ/км}$  — коэффициент рассеяния оптоволоконна из кварца.

Поэтому имеем

$$P_\lambda = 0,8 \cdot 0,85^{-4} = 1,54 \text{ дБ/км, если волокно многомодовое с } \lambda = 850 \text{ нм;}$$

$$P_\lambda = 0,8 \cdot 1,55^{-4} = 0,14 \text{ дБ/км, если волокно одномодовое с } \lambda = 1550 \text{ нм.}$$

Чем больше длина волны, которую дает приемопередатчик, тем меньше затухание сигнала по мощности и больше дальность связи.

3. Потери мощности светового сигнала для разъемных соединений в ОК. Эти потери на одно соединение составляют:

- 0,1 дБ, если соединение качественное;
- от 0,2 до 0,3 дБ при соединении среднего качества.

4. Потери мощности светового сигнала для неразъемных соединений в ОК. На потери мощности сигнала в месте соединения волокон, когда сигнал идет от волокна OB1 к OB2, влияют следующие факторы:

- несоответствие диаметров сердцевин волокон соединяемых оптических кабелей. В этом случае потери мощности светового сигнала определяют по формуле

$$P_d = 10 \lg(d_2/d_1), \quad (5.6)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — диаметры сердцевин оптических волокон ОВ1 и ОВ2 соответственно.

Если  $d_2 > d_1$ , то потери мощности светового сигнала отсутствуют;

- несоответствие один другому коэффициентов преломления торцов сердцевин соединяемых оптических волокон. В этом случае потери мощности светового сигнала определяют по формуле

$$P_{\Pi} = 10 \lg \left[ 1 - 2 \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \right], \quad (5.7)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — коэффициенты преломления сердцевин волокон ОВ1 и ОВ2;

- смещение одной относительно другой центральных осей соединяемых оптических волокон ОВ1 и ОВ2. В этом случае потери мощности светового сигнала определяют по формуле

$$P_c = 10 \lg(1 - \delta/d) \quad (5.8)$$

где  $\delta$  — абсолютная величина смещения центральных осей соединяемых оптических волокон ОВ1 и ОВ2;  $d$  — диаметр сердцевины соединяемых оптических волокон.

5. Потери мощности светового сигнала вследствие модовой дисперсии, как правило, не превышает 0,1 дБ.

6. Дисперсионные потери мощности светового сигнала, как правило, очень малы и не учитываются. Однако они ограничивают дальность передачи, т. е. не позволяют сделать дальность канала связи бесконечной.

7. Эксплуатационный запас, который учитывает потери мощности светового сигнала, связанные с изменением окружающей среды, например температуры и влажности воздуха и т. д. Рекомендуется выбирать следующий эксплуатационный запас:

- если ОК проложен вне здания, то  $P_3 = 1 \dots 3$  дБ;
- если ОК проложен в здании, то достаточно запаса  $P_3 = 1$  дБ.

Следует иметь в виду, что снижение мощности в 2 раза соответствует ее уменьшению на 3 дБ, поскольку, например, для отношения выходной мощности к входной имеем

$$P = 10 \lg \frac{100 \text{ мВт}}{200 \text{ мВт}} = 10 \lg 2^{-1} = -10 \cdot (0,3) = -3 \text{ дБ}. \quad (5.9)$$

Для перевода мощности из милливаттов (мВт) в логарифмическую шкалу децибелов на милливатты (дБм) используют выражение

$$P = 10 \lg \frac{P \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}} \text{ дБм}. \quad (5.10)$$



**Пример 5.3** Определите потерю мощности сигнала в оптическом кабеле, в точке соединения волокон, если абсолютная величина смещения центральных осей соединяемых оптических волокон составляет 0,1 от диаметра сердцевины этих оптических волокон

Решение.

1. Используя формулу (5.8) получаем величину потери мощности сигнала  $P_c$  в точке соединения волокон, которая равна

$$P_c = 10 \lg(1 - \delta/d) = 10 \lg(1 - 0,1) = -0,457 \text{ дБ}$$

2. Если  $P_{свх}$  и  $P_{свых}$  соответственно мощности сигнала на входе и выходе точки, в которой соединяются волокна, то тогда имеем

$$P_{свых} = 10 \lg \frac{P_{свых}}{P_{свх}} = -0,457 \text{ дБ} \quad \text{или} \quad \lg \frac{P_{свых}}{P_{свх}} = -0,0457 \text{ дБ}$$

$$\frac{P_{свых}}{P_{свх}} = \frac{1}{10^{0,0457}} = 0,9$$

В точке соединения волокон передается только 90% мощности входного сигнала, поэтому потеря мощности сигнала в точке соединения волокон составляет 10%.

**Пример 5.4** Переведите мощности  $P_1 = 300$  мВт;  $P_2 = 200$  мВт и  $P_3 = 150$  мВт из милливаттов в логарифмическую шкалу децибелов на милливатты.

Решение. Используя выражение (3.10) имеем:

$$P_1 = 10 \lg \frac{300 \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}} = 10 \lg 300 = 10 \cdot (\lg 3 \cdot 100) =$$

$$= 10(\lg 3 + \lg 100) = 10(0,47 + 2) = 24,7 \text{ дБм};$$

$$P_2 = 10 \lg \frac{200 \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}} = 10 \lg 200 = 10(\lg 2 \cdot 100) =$$

$$= 10(\lg 2 + \lg 100) = 10(0,3 + 2) = 23 \text{ дБм};$$

$$P_3 = 10 \lg \frac{150 \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}} = 10 \lg 150 = 10(\lg 1,5 \cdot 100) =$$

$$= 10(\lg 1,5 + \lg 100) = 10(0,17 + 2) = 21,7 \text{ дБм}.$$

Перечислим основные понятия волоконно-оптического канала связи:

- выходная мощность передатчика  $P_{вых}$  — это мощность источника светового излучения, которое направляется в оптическое волокно;

- чувствительность приемника  $P_{ч.л}$  — это минимальная мощность светового сигнала, который может получить приемник;

- мощность насыщения приемника  $P_{н.л}$  — это максимальное значение мощности светового сигнала, которое приводит к насыщению приемника. Если входной сигнал будет больше этого значения, то прием входного сигнала может вывести приемник из строя;

- бюджет мощности оптического канала связи  $P_{б.м}$  определяется как разность значений выходной мощности передатчика и чувствительности приемника:

$$P_{б.м} = P_{вых} - P_{ч.л} \quad (3.11)$$

• допустимые потери мощности сигнала в оптическом канале связи  $P_{\text{дон}}$  определяются по формуле

$$(P_{\text{вых}} - P_{\text{н.н}}) < P_{\text{дон}} < P_{\text{б.м}}, \quad (3.12)$$

**Пример 5.5** Вычислите бюджет мощности и допустимые потери мощности сигнала в оптическом канале связи, если известны следующие исходные данные:

- выходная мощность передатчика  $P_{\text{вых}} = 300$  мВт
- чувствительность приемника  $P_{\text{ч.н}} = 50$  мВт
- мощность насыщения приемника  $P_{\text{н.н}} = 200$  мВт

Решение.

1. Определяем бюджет мощности оптического канала связи по формуле (3.11)

$$P_{\text{б.м}} = P_{\text{вых}} - P_{\text{ч.н}} = 250 \text{ мВт}$$

При этом максимальная потеря мощности сигнала в оптическом канале связи должна быть менее 7,781 дБ, согласно формулы (3.12),

$$P_{\text{б.м}} = 10 \lg \frac{300 \text{ мВт}}{50 \text{ мВт}} = 7,781 \text{ дБ},$$

$$P_{\text{дон}} < P_{\text{б.м}} = 7,781 \text{ дБ}$$

так как иначе чувствительность приемника не позволит принять сигнал.

2. Определяем потерю мощности сигнала в оптическом кабеле, не позволяющую приемнику войти в режим насыщения, используя формулу (3.12)

$$P_{\text{дон}} > P_{\text{вых}} - P_{\text{н.н}} = 300 - 200 = 100 \text{ мВт}$$

Потеря мощности сигнала в канале связи должна быть более 1,761 дБ, иначе приемник выйдет из строя.

$$P_{\text{вых}} - P_{\text{н.н}} = 10 \lg \frac{200 \text{ мВт}}{300 \text{ мВт}} = 10 \lg 0,66667 = -1,761 \text{ дБ}$$

$$P_{\text{дон}} > (P_{\text{вых}} - P_{\text{н.н}}) = 1,761 \text{ дБ}$$

3. В результате проведенных расчетов получаем, что допустимая потеря мощности сигнала в оптическом канале связи должна удовлетворять следующему условию:

$$1,761 < P_{\text{дон}} < 7,781 \text{ дБ}$$

### 5.10 Правила монтажа и достинства кабельных систем на основе оптоволокна.

Отметим следующие достоинства оптического кабеля:

- большая скорость передачи данных:

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon}} = 200\,000 \text{ км/с},$$

где  $c_0$  — скорость света в вакууме,  $c_0 = 300\,000$  км/с;  $\epsilon$  — диэлектрическая постоянная материала оптоволокна, обычно равна 1,4;

- невосприимчивость передаваемого светового сигнала к внешним электрическим помехам и наводкам;
- отсутствие необходимости создания заземляющих контуров;
- малая масса (ОК с одной центральной жилой имеет массу всего 9 г/м);
- конфиденциальность передачи информации;

- коррозионная стойкость к воздействию агрессивных сред и влаги;
- работает при температуре окружающей среды от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- коннектор кабеля допускает до 500 подключений в разъем адаптера;
- простота наращивания канала связи.

Перечислим основные правила прокладки оптических кабелей:

- до начала прокладки кабеля необходимо убедиться, что кабельные каналы и лотки не имеют острых краев;
- радиус изгиба кабеля не должен превышать четырех диаметров кабеля;
- недопустимо образование петель и скручивание кабеля;
- на кабель не следует класть посторонние предметы;
- следует протягивать кабель прямо с катушки.

Следует иметь в виду, что при создании кабельных систем на основе оптоволокну, при выборе оптического кабеля следует учитывать: затухание сигнала в кабеле, количество волокон в кабеле, внешний диаметр кабеля, допустимое растягивающее усилие и допустимое условие стягивания, массу кабеля, максимально допустимую длину.

## Лекция 6. Принципы, правила установки, монтажа, эксплуатации и модернизации АСОИиУ, построенных на базе ЛВС семейства Ethernet, Fast Ethernet Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet.

### 6.1 Стандарты сетей семейства Ethernet для построения АСОИиУ

Как правило, централизованные АСОИиУ строят на базе ЛВС семейства Ethernet. Классификация ЛВС, используемых при построении таких АСОИиУ, приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

ЛВС семейства Ethernet, используемые для построения централизованных АСОИиУ		
Класс ЛВС	Семейство ЛВС Ethernet	Стандарты ЛВС Ethernet
Низкоскоростные	Ethernet, скорость 10 Мбит/с	10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseF (стандарт IEEE 802.3)
Среднескоростные	Fast Ethernet, скорость 100 Мбит/с	100BaseTX, 100BaseT4, 100BaseFX, 100BaseSX (стандарт IEEE 802.3u)
Скоростные	Gigabit Ethernet, скорость 1 Гбит/с	1000BaseLX, 1000BaseSX, 1000BaseT, 1000BaseTX (стандарт IEEE 802.3z)
Сверхскоростные	10 Gigabit Ethernet, скорость 10 Гбит/с	10GBaseSR, 10GBaseLR, 10GBaseER (стандарт IEEE 802.3ae)
Суперскоростные	40 Gigabit Ethernet, скорость 40 Гбит/с	40GBaseSR4 40GBaseLR4 (стандарт IEEE 802.3ba)
Ультраскоростные	100 Gigabit Ethernet, скорость 100 Гбит/с	100GBaseSR10 100GBaseLR10 (стандарт IEEE 802.3ba)

Стандарт IEEE 802.3 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) –разработан институтом инженеров по электротехнике и электронике.

### 6.2 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС семейства 10/100 Base

Локальные вычислительные сети стандартов 10Base5, 10Base2 в настоящее время практически не применяются. Далее будем использовать следующие понятия:

- луч сети — кабель, соединяющий узел сети с концентратором, или кабель, соединяющий два соседних концентратора;
- длина сети — сумма расстояний всех лучей, соединяющих через концентраторы два наиболее удаленных друг от друга узла сети;
- $\lambda$  — длина световой волны, которая излучается оптическим приемопередатчиком и измеряется, нм.

Рассмотрим основные правила установки и монтажа ЛВС Ethernet

*ЛВС Ethernet стандарта 10BaseT:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют кабель НВП третьей категории;
- длина луча сети не превышает 100 м;
- в кабеле луча сети задействованы только две пары проводов из четырех; одна пара используется для передачи сигнала (пара 2 — оранжевая), а другая — для приема (пара 3 — зеленая). Пара 1 (голубая) и пара 4 (коричневая) не используются;

- между любыми двумя узлами сети должно быть не более четырех концентраторов и пяти лучей;
- максимальная длина сети не должна превышать 500 м.

#### *ЛВС Ethernet стандарта 10BaseF:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют ОК на основе многомодового волокна;
- в сетевых адаптерах узлов сети используют светодиодный приемопередатчик, длина световой волны составляет 850 нм;
- длина луча сети не должна превышать 1 000 м;
- между любыми двумя узлами сети должно быть не более четырех концентраторов и пяти лучей, поэтому длина сети не более 5 000 м.

#### *ЛВС Fast Ethernet стандарта 100BaseT4:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют кабель НВП третьей категории;
- длина луча сети не должна превышать 100 м;
- в кабеле лучей сети задействованы все четыре пары проводов;
- между любыми двумя узлами сети должно быть не более двух концентраторов и трех лучей;

- максимальная длина сети не должна превышать 205 м.

#### *ЛВС Fast Ethernet стандарта 100BaseTX:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют кабель НВП пятой категории;
- длина луча сети не должна превышать 100 м;
- в кабеле сети задействованы две пары проводов (вторая и третья);
- между любыми двумя узлами сети должно быть не более двух концентраторов и трех лучей;

- максимальная длина сети не должна превышать 205 м.

#### *ЛВС Fast Ethernet стандарта 100BaseFX:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют ОК на основе многомодового волокна;
- в сетевых адаптерах узлов сети используют светодиодный приемопередатчик, длина световой волны которого составляет 1 310 нм;
- длина луча сети не должна превышать 200 м;
- между любыми двумя узлами сети должно быть не более двух концентраторов и трех лучей;

- длина сети не должна превышать 412 м.

#### *ЛВС Fast Ethernet стандарта 100BaseSX:*

- строят на базе концентраторов;
- в сети используют ОК на основе многомодового волокна;
- в сетевых адаптерах узлов сети используют светодиодный приемопередатчик, длина световой волны составляет 850 нм;

- длина луча сети не должна превышать 160 м;
- между любыми двумя узлами сети должно быть не более двух концентраторов и трех лучей;
- максимальная длина сети должна быть не более 325 м.

### **6.3 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС семейства 1G Base**

ЛВС Gigabit Ethernet и более скоростные сети строят только на коммутаторах, способных параллельно передавать кадры сразу между всеми парами своих портов и объединять рабочие станции отдельных сетей в единую сеть с помощью встроенной функции маршрутизации пакетов.

При этом, как правило, к отдельным скоростным портам коммутатора подключают серверы.

Основные эксплуатационные характеристики скоростных и сверхскоростных ЛВС, используемых при построении АСОИиУ, приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Основные эксплуатационные характеристики ЛВС семейства Ethernet 1GBase

Стандарт	Среда передачи	Максимальная длина луча сети, м
<i>ЛВС Gigabit Ethernet</i>		
1GBaseLX	ОК на основе одномодового волокна, светодиодный приемопередатчик с $\lambda = 1\,310$ нм	5 000
1GBaseSX	ОК на основе многомодового волокна, светодиодный приемопередатчик с $\lambda = 850$ нм	500
1GBaseT	Кабель «витая пара» категории 5Е (задействованы четыре пары)	100
1GBaseTX	Кабель «витая пара» категории 6 (задействованы две пары)	100

#### 6.4 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС семейства 10 GBase

Основные эксплуатационные характеристики скоростных ЛВС семейства 10GBase, используемых при построении АСОИиУ, приведены в табл. 6.3

Таблица 6.3

Основные эксплуатационные характеристики ЛВС семейства Ethernet 10GBase

Стандарт	Среда передачи	Максимальная длина луча сети, м
10GBaseER	ОК на основе одномодового волокна, лазерный приемопередатчик с $\lambda = 1\,550$ нм	40 000
10GBaseLR	ОК на основе многомодового волокна, лазерный приемопередатчик с $\lambda = 1\,310$ нм	10 000
10GBaseSR	ОК на основе многомодового волокна, светодиодный приемопередатчик с $\lambda = 850$ нм	26

#### 6.5 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС семейства 40/100 GBase

Основные эксплуатационные характеристики скоростных ЛВС семейства 40/100 GBase, используемых при построении АСОИиУ, приведены в табл. 6.4

Таблица 6.3

## Основные эксплуатационные характеристики ЛВС семейства 40/100 GBase

Стандарт	Среда передачи	Максимальная длина луча сети, м
<i>ЛВС 40 Gigabit Ethernet</i>		
40GBaseSR4	ОК марки OM4 на основе многомодового волокна, содержащего 8 волокон, VCSEL-лазерный приемопередатчик. По волокну передается световой луч с $\lambda = 850$ нм. Каждый луч передает по волокну данные со скоростью 10 Гбит/с Стандартный 12-волоконный разъем MPO на кабель.	150
40GBaseSR4	ОК марки OM3 на основе многомодового волокна, содержащего 8 волокон, VCSEL-лазерный приемопередатчик. По волокну передается световой луч с $\lambda = 850$ нм. Каждый луч передает по волокну данные со скоростью 10 Гбит/с Стандартный 12-волоконный разъем MPO на кабель.	100
<i>ЛВС 100 Gigabit Ethernet</i>		
100GBaseSR10	ОК марки OM4 на основе многомодового волокна, содержащего 20 волокон, VCSEL-лазерный приемопередатчик. По волокну передается световой луч с $\lambda = 850$ нм. Каждый луч передает по волокну данные со скоростью 10 Гбит/с Стандартный 12-волоконный разъем MPO на кабель. (*)	150
<i>ЛВС 100 Gigabit Ethernet )</i>		
100GBaseSR10	ОК марки OM3 на основе многомодового волокна, содержащего 20 волокон, VCSEL-лазерный приемопередатчик. По волокну передается световой луч с $\lambda = 850$ нм. Каждый луч передает по волокну данные со скоростью 10 Гбит/с Стандартный 24-волоконный разъем MPO на кабель. (*)	100

(\*) Оптический коннектор MPO (Multi-fiber Push On) осуществляет соединение оптических волокон с коммуникационными панелями (кросс-панелями), имеет небольшие размеры и обладает хорошими оптическими характеристиками. Так, в 12-ти волоконном разъеме MPO потеря мощности сигнала, проходящего через него, составляет около 0,35 дБ. Шнуры (короткие оптические волокна длиной до 15 м), которые предназначены для перехода с коннектора MPO на разъемы типа ST, SC или LC, имеют вносимые потери менее 0,15 дБ.

Международной электротехнической комиссией (International Electrotechnical Commission - ИЕС) разработан и утвержден международный стандарт на коннекты МРО, который определен как ИЕС-61754-7. «Интерфейсы волоконно-оптических соединителей. Часть 7. Серия соединителей типа МРО»

Следует отметить, что в настоящее время рядом фирм рассматривается возможность реализации *ЛВС 100 Gigabit Ethernet* с использованием оптического кабеля, состоящего из восьми многомодовых волокон, при этом скорость передачи данных должна составлять 25 Гбит/с по каждому волокну в одном направлении.

## 6.6 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС Ethernet

На крупных предприятиях АСОИиУ строят на базе сетей семейства Ethernet в виде иерархической структуры:

- на верхнем уровне иерархии расположена сеть Ethernet семейства 10GBase;
- на среднем уровне иерархии расположены сети Ethernet семейства 1GBase;
- на нижнем уровне иерархии расположены сети Ethernet семейства 100Base.

Серверы ЛВС верхнего уровня обслуживают всех сотрудников организации по мере необходимости; серверы ЛВС средних уровней обслуживают сотрудников тех подразделений, где установлены (управления, отделения), а серверы ЛВС нижнего уровня обслуживают сотрудников подразделений, где установлены (отделы, лаборатории).

Взаимодействие ЛВС разных уровней осуществляется через коммутаторы с функциями маршрутизации.

## 6.7 Построение и эксплуатация АСОИиУ на базе ЛВС семейства 100Base

Поскольку довольно часто АСОИиУ строят на базе ЛВС 100BaseTX, 100BaseT4 или 100BaseFX, имеющих нестандартные архитектурные решения, то для того, чтобы ЛВС нестандартной архитектуры была работоспособной, необходимо выполнение условия

$$PDV < 512BT, \quad (6.1)$$

где  $PDV$  (Path Delay Value) — максимальное время двойного оборота сигнала, т. е. время, в течение которого сигнал распространяется по кабелю сети от узла источника к узлу адресату и обратно при условии, что эти узлы находятся один от другого на наибольшем расстоянии;

$BT$  (Bit Time) — длительность одного бита данных,  $BT = 10$  нс.

Значение  $PDV$  определяется из следующего выражения:

$$PDV = 2 \left( T_u + T_a + \sum_{i=1}^n T_{ki} + \sum_{j=1}^m T_j \right), \quad (6.2)$$

где  $T_u$ ,  $T_a$  — время задержки сигнала в сетевом адаптере узла источника и адресата соответственно;  $T_{ki}$  — время задержки сигнала в  $i$ -м концентраторе;  $T_j$  — время задержки распространения сигнала в  $j$ -м луче кабеля, который расположен на пути от источника к адресату; на расстоянии 100 м оно равно 500 нс или  $50 BT$ , т. е. задержка сигнала на один метр составляет  $0,5 BT$ ;  $n$  — число концентраторов на пути максимальной длины от источника к адресату;  $m$  — число лучей на пути максимальной длины от источника к адресату.



**Пример 4.1.** Оцените работоспособность ЛВС 100Base TX, если известно, что между двумя наиболее удаленными узлами сети находятся:

- три концентратора, задержка сигнала в каждом концентраторе равна  $30BT$ ;
- четыре луча длиной 50 м каждый.

Задержка сигнала в сетевых адаптерах источника и адресата одинакова и равна  $25 BT$ .

*Решение:*

1) задержка сигнала в сетевых адаптерах  $T_u = T_a = 25BT =$

2) задержка сигнала в концентраторах  $T_{к1} = T_{к2} = T_{к3} = 30BT$ ;

3) задержка сигнала в каждом кабеле, входящем в путь максимальной длины,  $T_1 = T_2 = T_3 = 25BT$ ;

4) общая задержка сигнала от источника к адресату на пути максимальной длины, согласно выражению (4.2),

$$PDV = 2(25BT + 25BT + 3 \times 30BT + 4 \times 25BT) = 480BT;$$

5) Поскольку  $PDV < 512BT$ , ЛВС работоспособна.

## **Лекция 7. Принципы, правила установки, монтажа, эксплуатации и модернизации АСОИиУ, построенных на базе ЛВС кольцевой архитектуры. Сеть FDDI. Правила установки и эксплуатации коммутаторов и модемов в АСОИиУ.**

### **7.1 Особенности эксплуатации сетей кольцевой архитектуры FDDI**

Отдельные территориально-распределенные ЛВС, входящие в состав АСОИиУ, довольно часто объединяют в единую распределенную систему с помощью типовой технологии: волоконно-оптический интерфейс распределенной передачи данных (Fiber Distributed Data Interface - FDDI).

Перечислим основные особенности установки и монтажа сетей FDDI.

- FDDI — это отказоустойчивая сеть кольцевой архитектуры, имеющая два кольца (основное и резервное). К каждому кольцу можно подключить до 500 устройств (узлов сети), максимальная длина кольца — 100 км, а скорость передачи информации по кольцу — 100 Мбит/с.
- Подключение узлов к кольцу сети, в том числе коммутаторов, мостов и маршрутизаторов, осуществляется с помощью адаптеров FDDI.
- При монтаже сети FDDI на базе одного кольца следует использовать узлы типа SAS (Single Attached Station), имеющие одну сетевую плату для подключения к кольцу сети, а при монтаже сети на базе двух колец — узлы типа DAS (Dual Attached Station), имеющие две сетевые платы для подключения узла к обоим кольцам сети.
- Сеть FDDI можно строить как на одном кольце, так и на двух. Второе кольцо работает только тогда, когда первое кольцо выходит из строя, либо в период перегрузки первого кольца. В сети FDDI на базе двух колец передача информации по этим кольцам ведется в противоположных направлениях.
- Сети FDDI в качестве среды передачи информации по кольцу используют оптический кабель на базе одномодового (10/125 мкм) или многомодового (62,5/125 мкм) волокна и светодиодные приемопередатчики, имеющие соответственно длины волн светового луча  $\lambda = 1310 \text{ нм}$  и  $\lambda = 850 \text{ нм}$ .
- Расстояние между двумя соседними устройствами в сети FDDI без наличия усилителей при использовании одномодового волокна не должно превышать 35 км, а при использовании многомодового волокна — 2 км.
- Уровень мощности светового сигнала, проходящего по кольцу сети, на входе узла сети не должен быть менее 31 дБм. При этом под уровнем мощности понимают величину, вычисляемую в логарифмической шкале по формуле  $P \text{ (дБм)} = 10 \lg P \text{ (мВт)}$ , где  $P$  — мощность светового сигнала в милливаттах, мВт.
- Максимально допустимый уровень потерь мощности светового сигнала в кабеле не должен превышать 11 дБм.
- В сети FDDI предусмотрена передача трафика двух типов:
  - синхронного трафика для передачи приложений, которые требуют предоставления им гарантированной пропускной способности, т. е. для передачи голоса и видеоизображений. Для такого трафика каждому узлу сети предоставляется фиксированная часть пропускной способности кольца;
  - асинхронного трафика для передачи данных, когда не предъявляются требований к задержкам обслуживания. Узел может передавать асинхронные кадры только в том случае, если у него осталась какая-то часть неизрасходованной пропускной способности.
- Таким образом, сеть FDDI позволяет поддерживать приоритетную обработку трафика: высший приоритет у синхронного трафика для передачи голоса и видео, а низший — у асинхронного трафика для передачи данных.

- При работе сети FDDI в ней можно установить несколько маркеров, которые используются для одновременной передачи информации. Каждому узлу может быть выделено ограниченное время владения маркером, которое заранее должно быть определено администратором сети. Пока узел владеет маркером, он может переслать несколько кадров. По завершении передачи маркер автоматически передается другому узлу.

В процессе инициализации сети администратор определяет и устанавливает ожидаемое время обхода кольца маркером, т. е. время TTRT (Target Token Rotation Time). При этом каждому узлу, получившему маркер, выделяется гарантированное время для передачи данных в кольцо, по истечении которого узел должен закончить передачу, после чего маркер переходит к другому узлу.

В момент перехода маркера включается таймер, регистрирующий время от момента отправки маркера в кольцо до момента его возвращения, т. е. время TRT (Token Rotation Time). Если маркер возвратится к узлу раньше ожидаемого времени обхода TTRT, то передача данных от узла в кольцо может быть продолжена и по окончании времени, выделенного для синхронной передачи.

Дополнительное время передачи равно разности между ожидаемым и реальным временем обхода кольца маркером. Если узел передает мало данных, то неиспользованное им время становится доступным другим узлам.

Стандартный размер пакета сети FDDI равен 4500 байт, а максимальный размер, который может установить администратор, равен 20 000 байт.

Эффективность установки и монтажа сети FDDI оценивают на основании расчетов, проведенных с использованием следующих формул:

$$T_{\Phi} < 2T; \quad (7.1)$$

$$\Theta = \frac{n(T - D)}{(nT + D)}; \quad (7.2)$$

$$T_{\max \text{ з}} = (n - 1)T + 2D, \quad (7.3)$$

$$D = Lt_p + nt_3 \quad (7.4)$$

где  $T_{\Phi}$  = TRT — фактическое время обхода кольца маркером (мс);  
 $T$  = TTRT — ожидаемое время обхода кольца маркером (мс);  $\Theta$  — коэффициент загрузки канала, желательно, чтобы  $\Theta > 0,9$ ;  $n$  — число узлов в сети;  $D$  — задержка маркера в кольце сети при полном обороте (мс);  $L$  — длина кольца сети (км);  $T_{\max \text{ з}}$  — максимальное время задержки доступа узла к сети (мс);  
 $t_p$  — среднее время распространения сигнала на 1 км (мкс);  $t_3$  — среднее время задержки сигнала в узле сети (мкс).

**Пример .** Оцените параметры функционирования сети при следующих исходных данных:  $T = 5$  мс — ожидаемое время обхода кольца маркером;

$t_p = 5$  мкс/км — время распространения сигнала;

$t_3 = 1$  мкс/узел — время задержки сигнала в узле сети;

$n = 16$  — число узлов в сети;

$L = 20$  км — длина кольца сети.

**Решение:** 1) определяем задержку маркера в кольце сети по формуле (4.6):

$$D = Lt_p + nt_3 = 20 \cdot 5 + 16 \cdot 1 = 116 \text{ мкс} = 0,12 \text{ мс};$$

2) находим коэффициент эффективности работы сети (загрузку канала) по формуле (4.4):

$$\Theta = \frac{n(T-D)}{(nT+D)} = \frac{16(5-0,12)}{(16 \cdot 5 + 0,12)} = 0,975 = 97,5 \ %;$$

3) вычисляем максимальное время задержки доступа узла к сети по формуле (4.5):

$$T_{\max 3} = (n-1)T + 2D = (16-1)5 + 2 \cdot 0,12 = 75,2 \text{ мс}$$

Следует иметь в виду, что при  $n > 100$ , формулу (7.2) можно упростить и тогда имеем  $\Theta \approx 1 - D/T$

Анализ формул (7.3) и (7.4) показывает, что время задержки доступа узла к сети FDDI зависит от числа узлов в сети и длины кольца.

## 7.2 Выбор маршрута прокладки кабеля сети кольцевой архитектуры.

Для выбора маршрута прокладки кабеля сети FDDI, который минимизирует длину кольца, проходящего через все узлы сети, существует большое число математических методов.

### Выбор маршрута прокладки кабеля для сети кольцевой архитектуры с использованием метода «иди в ближний узел».

Метод “иди в ближний узел” самый простой среди методов, используемых для выбора маршрута прокладки кабеля, и основан на правиле, согласно которому кабель проходит через все узлы сети только один раз и каждый узел может быть соединен только с двумя соседними узлами.

Порядок решения задачи методом “иди в ближний узел” имеет следующий вид:

1. Определяем множество узлов (V), через которые должен пройти кабель
2. Определяем расстояния между всеми узлами сети, между которыми можно проложить кабель (формируем таблицу расстояний между узлами сети);
3. Формируем очередь, элементами которой являются дуги, определяющие расстояния между узлами сети. Очередь формируется так, чтобы, от начала очереди к ее концу, расстояния между элементами в очереди (длины дуг) не увеличивались.
4. Последовательно просматриваем все элементы очереди (длины дуг, начиная с дуги наименьшей длины) и формируем маршрут прохождения кабеля. Если выбранная дуга позволяет подсоединить к оконечным узлам формируемого маршрута сети новые узлы, не образуя циклов (или петель), то соответствующие узлы сети соединяем этой дугой, иначе дугу отбрасываем и не включаем в маршрут.
5. Завершаем просмотр очереди расстояний между узлами сети, если все узлы сети включены в сформированный маршрут прокладки кабеля. Далее соединяем крайние узлы полученного маршрута прокладки кабеля и получаем кольцевой маршрут.

Рассмотрим решение задачи выбора маршрута прокладки кабеля для сети кольцевой архитектуры с применением метода «иди в ближний узел» на примере.

**Пример.** Следует проложить кабель для сети кольцевой архитектуры, состоящей из пяти узлов. Расстояния между узлами сети даны в табл 7.1

Расстояние между узлами сети Таблица 7.1

Узлы	1	2	3	4	5
1	*	4	6	2	13
2	4	*	3	2	13
3	6	3	*	5	13
4	2	2	5	*	8
5	13	13	13	8	*

Решение. Согласно приведенному порядку решения задачи методом “иди в ближний узел” имеем:

1. Сеть имеет пять узлов, соответственно с номерами от 1 до 5.
2. Расстояния между узлами сети приведены в табл.П4.1
3. Формируем очередь расстояний между узлами сети, упорядоченную не по убыванию длин лучей между узлами сети, которая имеет следующий вид:

$$Q_{14}=2, \quad Q_{24}=2, \quad Q_{23}=3, \quad Q_{12}=4, \quad Q_{34}=5, \quad Q_{13}=6, \quad Q_{45}=8, \\ Q_{35}=13, \quad Q_{25}=13, \quad Q_{15}=13.$$

4. Просматриваем очередь и формируем маршрут прокладки кабеля. В начале рассматриваем дугу 14. Соединяем узлы 1 и 4. и получаем маршрут (1-4). Далее рассматриваем следующую дугу из очереди – дугу 24.

Соединяем узлы 2 и 4 и получаем маршрут (1 – 4 - 2). После рассматриваем дугу 23, соединяем узлы 2 и 3 и получаем маршрут (1 – 4 – 2 - 3).

Далее рассматриваем дугу 12. Поскольку узлы 1 и 2 уже входят в состав маршрута, а петли образовывать нельзя, то отбрасываем дугу 12.

Рассматриваем следующую дугу 34. Поскольку узлы 3 и 4 уже входят в состав маршрута, а петли образовывать нельзя, то дугу 34 также отбрасываем.

Рассматриваем дугу 13., Соединить узлы 1 и 3 нельзя, поскольку тогда получим кольцевой маршрут, в котором отсутствует узел 5, поэтому дугу 13 также отбрасываем.

Рассматриваем дугу 45. Узел 4 уже задействован и не является крайним в маршруте, поэтому эту дугу отбрасываем.

Рассматриваем дугу 35. Соединяем узлы 3 и 5 и получаем маршрут, проходящий через следующие узлы: (1 – 4 – 2 – 3 - 5).

Поскольку все узлы входят в состав маршрута, то кольцевой маршрут имеет вид:

узел 1          узел 4          узел 2          узел 3          узел 5          узел 1

О — — — — — О — — — — — О — — — — — О — — — — — О — — — — — О

$$S = 1 - 4 - 2 - 3 - 5 - 1.$$

Длина маршрута прокладки кабеля кольцевой архитектуры равна сумме длин лучей, входящих в состав кольцевого маршрута

$$L = 2+2+3+13+13=33 \text{ единицы}$$

### **Выбор маршрута прокладки кабеля для сети кольцевой архитектуры с использованием метода Прима-Эйлера**

Метод Прима-Эйлера использует алгоритм Прима и метод Эйлера, для решения задачи коммивояжера.

Порядок решения задачи методом Прима – Эйлера имеет следующий вид:

1. Определяем множество узлов сети (V),
2. Определяем расстояние между всеми узлами сети, между которыми можно проложить кабель. Формируем таблицу расстояний между узлами сети
3. С помощью алгоритма Прима строим остовое дерево. При этом сначала формируем очередь расстояний между узлами сети. Очередь формируем так, чтобы от начала очереди к ее концу не уменьшались расстояния между узлами, т.е. длины дуг. Далее последовательно выбираем из очереди длины дуг, начиная с дуги минимальной длины, и строим граф. Вершинами графа являются узлы сети, а дугами – расстояния между этими узлами сети. От каждого узла может выходить любое число дуг, но не допускается образования колец и петель.
4. Строим мультиграф, каждой длине дуги сопоставляем ей идентичную.
5. Строим в полученном мультиграфе. маршрут Эйлера При построении маршрута Эйлера один узел считаем базовым, из которого осуществляем кольцевой обход мультиграфа, при этом удаляем в кольцевом маршруте все узлы, которые повторно встречаются на пути обхода этого мультиграфа.



от пользователя в сеть. При дальности связи до 3 км. скорости соответственно составляют 6 Мбит/с и 640 Кбит/с.

Используются следующие разновидности технологии ADSL: ADSL, ADSL2 и ADSL2+. Скорость передачи ADSL2 больше, чем ADSL, за счет уменьшения объема передаваемой служебной информации, использования улучшенного механизма квадратурно - амплитудной модуляции, сокращения времени инициализации установления соединения. В ADSL2+ для увеличения скорости передачи почти в 3 раза, по сравнению с ADSL, расширен частотный диапазон до 2,2 МГц и реализована возможность объединения двух линий в один логический канал.

- высокоскоростная цифровая абонентская линия (High Bit-Rate Digital Subscriber Line – HDSL). Обеспечивает симметричные скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю (2 Мбит/с на расстояния не более 3,7 км) за счет использования двух пар проводов;

- однолинейная цифровая абонентская линия (Single-Line Digital Subscriber Line -SDSL) Технология SDSL обеспечивает симметричные скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю, но имеет отличия от технологии HDSL: во-первых, используется только одна витая пара проводов, а во-вторых, максимальное расстояние передачи данных несколько меньше, ограничено 3 км;

- цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения (Rate Adaptec Digital Subscriber Line – RADSL). Технология R-ADSL использует одну витую пару проводов и обеспечивает такую же скорость передачи данных, что и технология ADSL, но при этом позволяет адаптировать скорость передачи к протяженности и состоянию используемой витой пары проводов. Скорость передачи данных выбирается при синхронизации линии, во время установления соединения;

- сверхскоростная абонентская линия (Very High Bit Rate Digital Subscriber Line – VDSL). Технология VDSL реализована на одной витой паре проводов и ее можно рассматривать как экономически эффективную альтернативу прокладыванию волоконно-оптического кабеля до конечного пользователя при расстояниях до 1 км.. С увеличением расстояния между пользователем и провайдером услуг скорость передачи данных к пользователю резко падает.

Технология VDSL2 обеспечивает скорость передачи до 100 Мбит/с в обоих направлениях, при условии, что расстояние между провайдером и пользователем не превышает 350 м. При расстояниях до 5 км скорость VDSL2 падает, но не опускается ниже 12 Мбит/с.

Характеристики цифровых абонентских линий связи приведены в табл.7.1

Таблица 7.1

## Характеристики цифровых абонентских линий связи

№	Тип цифровой абонентской линии связи		Скорость передачи (Мбит/с)	Дальность связи (км)
1	ADSL	от пользователя	640 Кбит/с	< 3.
		к пользователю	6,5	< 3
		То же	1,5	< 5,5
2	ADSL2	от пользователя	640 Кбит/с	< 2
		к пользователю	12	< 1
		То же	10	< 2
		«	5	< 3
3	ADSL2 плюс	от пользователя	640 Кбит/с	< 2
		к пользователю	24	< 1
		То же	19	< 1,5.
		«	12	< 2
		«	5	< 3
4	HDSL	от пользователя	2	< 3,7.
		к пользователю	2	< 3,7
5	SDSL	от пользователя	1,5 - 2	< 3
		к пользователю	1,5 -2	< 3
6	VDSL	от пользователя	2,3	< 0,3 .
		То же	1,5	< 1,5
		к пользователю	50	< 0,3 .
		То же	25	< 0,9 .
		«	12	< 1,5.
7	VDSL2	от пользователя	100	< 0,3 5 .
		То же	12	< 5
		к пользователю	100	< 0,3 .
		То же	50	< 0,9 .
		«	12	< 5

На практике наиболее широко используются абонентские цифровые линии связи, построенные по технологиям ADSL2, ADSL2+ и VDSL..

#### 7.4 Технологические решения для объединения офисов в единую систему.

Для объединения отдельных удаленных офисов в единую систему используют следующие технологические решения:

- технология многопротокольной коммутации с помощью меток (Multiprotocol Label Switching - MPLS), при которой провайдер предоставляет IP адреса, а технология MPLS позволяет администратору назначать пакетам метки потока и доставлять пакеты из ЛВС источника к ЛВС адресату;
- связь по туннельному протоколу точка-точка (Point-to-Point Tunneling Protocol - PPTP), работающему на канальном уровне, и позволяющему создавать туннели, т. е. виртуальные частные сети (Virtual Private Network-VPN), в сетях IP. Все данные, передаваемые по VPN сети, обычно шифруют для защиты от несанкционированного доступа. Шифрование трафика – одно из основных преимуществ использования VPN сети. Для создания связи между офисами необходимо в каждом офисе установить VPN сервер, для управления подключением компьютеров пользователей к VPN сети.
- связь по набору протоколов защиты данных, передаваемых по межсетевому протоколу IP (Internet Protocol Security – IPSec), и осуществляющих шифрование,



аутентификацию и проверку целостности IP пакетов для обеспечения их защиты при транспортировке. Протоколы работают на сетевом уровне.

Территориальные сети, работающие на базе IP технологии, используют стек протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol – TCP/IP). Эти сети объединяют распределенные АСОИиУ в единую систему и оказывают большое число услуг, отметим наиболее важные:

- передача файлов на базе протокола FTP (Fail Transfer Protocol);
- IP телефония на базе протоколов SIP (Session Initiation Protocol) и RTP (Real-time Transport Protocol);
- удаленный мониторинг и управление на базе протоколов SNMP (Simple Network Management Protocol) и RMON (Remote Monitoring).

### **7.5 Оценка качества функционирования удаленной связи офисов.**

Подробный подход к оценке качества функционирования IP сетей дан в рекомендациях ITU-TG.114, согласно этому документу в первую очередь следует учитывать следующие два параметра работы сетей: долю потерянных пакетов и задержку передачи пакетов между источником и адресатом. При этом доля потерянных пакетов должна быть не более 5 %, а задержка пакета между источником и адресатом должна составлять не более 150 мс.

Зависимость качества передачи голосовых пакетов IP сети от величины среднего времени задержки пакета между источником и адресатом, приведена в табл 7.2

Таблица 7.2

Качество передачи голосовых пакетов IP сети

Среднее время задержки IP пакета (мс)	Качество работы IP сети
0 - 150	очень хорошее
150 - 300	хорошее
300 - 400	удовлетворительное
свыше 400	неудовлетворительное

Задержка голосового пакета при его передаче от источника к адресату включает следующие шесть видов задержек:

- алгоритмическая задержка, связанная с обработкой голосового сообщения типовыми кодеками, обычно составляет около 5 мс;
- задержка пакетизации, включающая время помещения голосовых данных в IP пакет, обычно составляет около 25 – 30 мс;
- интерфейсная задержка, т. е. задержка пакета при передаче в канал связи, зависит от пропускной способности канала связи и составляет не более 5 мс;
- задержка пакета в выходной очереди источника, вызванная ожиданием обслуживания предыдущих пакетов, время задержки зависит от загрузки выходного канала, приоритетности обслуживания запросов и может изменяться в широких пределах от единиц мс до сотен мс;
- задержка распространения IP пакета по каналу связи, которая в значительной степени зависит от расстояния между источником и адресатом и составляет 5 мкс/км;
- задержка пакета у адресата для его преобразования и воспроизведения в виде голосового сообщения, обычно на практике она составляет величину соизмеримую с суммарным значением величин первых четырех из пяти рассмотренных задержек

В рекомендациях ITU-T Y.1540 дан перечень ключевых параметров (показателей качества) работы IP сетей на международных линиях, а в рекомендациях ITU-T Y.1541 определены числовые значения этих параметров. К основным показателям качества работы IP сетей относятся:

- среднее время задержки IP пакета (Internet Protocol Packet Transfer Delay-IPTD);
- верхний предел джиттера задержки IP пакета (Internet Protocol Packet Delay Variation - IPDV), т.е. максимальное отклонение от среднего времени задержки пакета;
- вероятность потерь IP пакетов (Internet Protocol Packet Loss Ration - IPLR);
- вероятность появления IP пакетов с ошибками (Internet Protocol Packet Error Ration - IPER).

В табл 7.3 приведены рекомендуемые нормы на перечисленные показатели качества работы для IP сетей классов от 0 до 5.

Таблица 7.3

Значения типовых показателей качества IP сети

Показатель качества IP сети	Класс IP сети					
	Класс-0	Класс-1	Класс-2	Класс-3	Класс-4	Класс-5
IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	*
IPDV	50 мс	50 мс	*	*	*	*
IPLR	$10^{-3}$					*
IPER	$10^{-4}$					*

\* ограничения на параметр в рекомендациях отсутствуют

Анализ данных, приведенных в табл 7.3, позволяет дать следующие рекомендации по использованию территориальных сетей, работающих на базе IP технологии, для организации работы распределенных АСОИиУ:

- для передачи речи, организации видео конференций следует использовать сети классов 0 и 1;
- для передачи управляющей информации следует использовать сети класса 2;
- для работы с интерактивными приложениями, при условии невысоких требований к задержкам пакетов, можно использовать сети класса 3;
- для передачи потокового видео следует использовать сети класса 4;
- для доступа к сети Интернет, когда отсутствуют жесткие требования к качеству IP сетей, можно использовать сети класса 5.

## 7.6 Основные параметры коммутаторов сетей.

АСОИиУ, построенные на базе ЛВС Ethernet, в качестве одного из важных компонент включают коммутатор. Коммутатор – это устройство, имеющее коммутационную матрицу, позволяющую автоматически коммутировать друг с другом отдельные свои порты, и способное параллельно передавать кадры сразу между всеми парами своих портов.

К основным параметрам коммутатора относятся:

- тип коммутации, без буферизации или с полной буферизацией;
- размер буфера (буферов) кадров;
- производительность внутренней шины;
- производительность процессора или процессоров;
- размер внутренней адресной таблицы.

Внутренняя адресная таблица коммутатора – это таблица соответствия портов коммутатора MAC- адресам устройств, которые к ним подключены, для управления доступом к среде ( Medium Access Control – MAC). Эту таблицу соответствия (content-addressable memory - CAM) коммутатор формирует в процессе "самообучения" по следующему принципу: стоит порту получить ответ от устройства с определенным физическим адресом , как в CAM таблице появляется соответствующая строка соответствия.

Размер внутренней адресной таблицы коммутатора – это максимальная емкость адресной таблицы, которая определяет предельное количество MAC адресов для управления доступом к среде, с которыми может одновременно может оперировать коммутатор.

MAC-адрес позволяет уникально идентифицировать каждый узел сети и доставлять данные только этому узлу. Таким образом, MAC-адреса формируют основу сетей на канальном уровне, которую используют протоколы более высокого, например, сетевого уровня.

В сетях TCP/IP для преобразования MAC-адресов в адреса сетевого уровня и обратно применяются специальные протоколы. Например, протокол разрешения адресов (Address Resolution Protocol–ARP) используется для динамического преобразования IPv4 – адресов в физические (аппаратные) MAC- адреса устройств локальной сети, а протокол (Reverse Address Resolution Protocol - RARP) решает обратную задачу, т. е. преобразование физических адресов в логические..

В сетях Ethernet используются MAC-адреса типа MAC-48, которые состоят из 6 бай, т. е.. из 48 бит, таким образом, адресное пространство MAC-48 насчитывает  $2^{48}$  (или 281 474 976 710 656) адресов.

Каждый порт хранит только те наборы MAC- адресов, с которыми он работал в последнее время. Значение максимального числа MAC-адресов, которое может запомнить процессор порта, зависит от области применения коммутатора. Коммутаторы для рабочих групп и малых офисов обычно поддерживают таблицу MAC-адресов емкостью до 8К.

Коммутаторы крупных рабочих групп поддерживают таблицу MAC-адресов емкостью от 8К до 16К, а коммутаторы магистралей сетей — как правило, от 16К до 64К адресов и более.

Недостаточная емкость адресной таблицы может служить причиной замедления работы коммутатора и засорения сети избыточным трафиком.

Если адресная таблица порта полностью заполнена, а он встречает новый адрес в поступившем пакете, процессор порта должен вытеснить из таблицы какой-либо старый адрес и поместить на его место новый. Эта операция отнимет у процессора часть времени и снижает его производительность, которая также снижается и при поступлении кадра с адресом назначения, который ранее пришлось удалить из адресной таблицы. Так как адрес назначения кадра неизвестен, то коммутатор должен передать этот кадр на все остальные порты. Эта операция будет создавать большую лишнюю работу для процессоров портов других коммутаторов.

Внутренняя буферная память коммутатора нужна для временного хранения кадров данных в тех случаях, когда их невозможно немедленно передать на выходной порт. Буфер предназначен для сглаживания кратковременных пульсаций трафика. Чем больше объем буферной памяти, тем менее вероятны потери кадров при перегрузках. Обычно коммутаторы должны иметь буферную память в несколько десятков или сотен килобайт на порт и желательно иметь возможность перераспределять эту память между несколькими портами, так как их одновременные перегрузки маловероятны.

### **7.7 Основные показатели работы коммутаторов сетей.**

Основными показателями работы коммутатора, характеризующими его производительность, являются: скорость фильтрации кадров, скорость продвижения кадров, пропускная способность, задержка передачи кадра.

*Скорость фильтрации (filtering)* определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- уничтожение кадра, так как его порт назначения и порт источника принадлежат одному логическому сегменту.

*Скорость продвижения (forwarding)* определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров.

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- передача кадра в сеть через найденный по адресной таблице порт назначения.

Скорость фильтрации и скорость продвижения обычно измеряются в кадрах в секунду. В качестве основного показателя скорости работы коммутатора используют кадры минимальной длины, поскольку такие кадры создают для него наиболее тяжелый режим работы по сравнению с кадрами другого формата

*Пропускная способность коммутатора* измеряется количеством пользовательских данных переданных в единицу времени через его порты (обычно Мбайт/с).

*Задержка передачи кадра* измеряется как время, прошедшее с момента прихода первого байта кадра на входной порт коммутатора до момента появления этого байта на его выходном порту. Задержка складывается из времени, затрачиваемого на буферизацию байт кадра, а также времени, затрачиваемого на обработку кадра коммутатором. Время обработки кадра в коммутаторе включает: просмотр адресной таблицы, принятие решения о фильтрации или продвижении кадра и получение для кадра доступа к выходному порту.

Величина задержки, вносимой коммутатором в процесс движения кадра, зависит от режима работы коммутатора: при коммутации без буферизации задержка обычно невелика и составляет от 5 до 40 мкс; а при полной буферизации кадров зависит от размера кадра, скорости сети и производительности оборудования коммутатора.

При выборе коммутатора необходимо соблюдать следующие основные правила:

- общая производительность коммутатора должна быть больше суммарной интенсивности передаваемого трафика;
- производительность внутренней шины коммутатора должна быть больше интенсивности суммарного трафика, передаваемого между портами;
- максимальная производительность каждого порта коммутатора должна быть больше средней интенсивности суммарного трафика, проходящего через порт.

## 7.8 Правила установки и настройки коммутаторов

При работе с коммутаторами следует строго соблюдать основные правила их установки, настройки рабочих параметров и обслуживания. Особое внимание следует уделять вопросам установки коммутаторов, монтируемых в стойку. Следует соблюдать следующие правила их монтажа и обслуживания:

- 1) до начала установки коммутаторов в стойку, необходимо предварительно произвести установку и настройку передних и боковых стабилизаторов устойчивости стойки, при этом следует помнить, что боковые стабилизаторы обычно используются только при объединении нескольких стоек;
- 2) после установки и настройки стабилизаторов устойчивости стойки следует убедиться, что они надежно и прочно прикреплены к стойке и к полу, и весь вес стойки опирается на пол, а стойка находится в устойчивом положении;
- 3) загружать стойку коммутаторами следует снизу вверх. Первым следует устанавливать самое тяжелое устройство, осторожно вставляя его ползьями по направляющим и медленно задвигая в стойку;.
- 4) число коммутаторов в стойке не должно допускать перегрузку источника питания коммутаторов стойки, его общая нагрузка не должна превышать 80 процентов от максимально допустимой;
- 5) не допустимо закрывать вентиляционные отверстия в стойке;
- 6) не следует опираться на стойку и устройства в стойке при проведении обслуживания коммутаторов;
- 7) не рекомендуется одновременно вынимать два и более устройств из стойки по направляющим, чтобы не допустить дестабилизацию устойчивого положения стойки;
- 8) шасси коммутаторов должно быть непосредственно заземлено на раму стойки. Не следует отключать заземляющий провод и работать с коммутаторами при отсутствии заземления;
- 9) электрическая розетка должна быть расположена на расстоянии не более чем 1,82 м от коммутаторов;
- 10) все работы с коммутаторами, установленными в стойку, должны выполняться в соответствии с утвержденной инструкцией.

После установки коммутатора на рабочее место необходимо установить физическое соединение между ним и рабочей станцией, с которой будет осуществляться его настройка.

Подход к настройке коммутаторов рассмотрим на примере коммутаторов компании D-Link. В коммутаторах компании D-Link можно использовать следующие виды связи рабочей станции с коммутатором для настройки и управления коммутатором:

- связь через консольный порт. Управляемые коммутаторы D-Link в зависимости от модели коммутатора могут иметь разъем DB-9 или RS-232, или оба. С помощью консольного кабеля, входящего в комплект поставки, коммутатор подключают к

последовательному порту компьютера. Консольный порт обычно используется для первоначальной конфигурации коммутатора;

- связь через порт Ethernet Rj-45, по протоколам Telnet, Secure –Shell или через Web-интерфейс. При подключении используется четырех парный кабель типа «витая пара» категории 5, 5е для Fast Ethernet или категории 6 для Gigabit Ethernet. Поскольку коммутаторы D-Link поддерживают функцию автоматического определения полярности (Medium Dependent Interface /Medium Dependent Interface with Crossover- MDI/MDIX), то можно использовать как прямой, так и кроссовый типы кабеля.

Для подключения к порту Rj-45 Ethernet другого коммутатора также можно использовать как прямой, так и кроссовый типы кабеля, при условии, что порты коммутатора поддерживают автоматическое определение полярности. Если порты не поддерживают функцию MDI/MDIX, то следует использовать только кроссовый кабель.

Правильность подключения коммутатора к рабочей станции можно определить по светодиодной индикации консольного порта (или порта RJ-45). Если соответствующий индикатор горит, то связь между коммутатором и подключенным к нему устройством установлена. Если индикатор не горит, то возможно, не включено питание одного из устройств или возникли проблемы с адаптером подключенного устройства, или имеют место неполадки с кабелем. Если индикатор загорелся и погас, то, возможно, существуют проблемы с автоматическим определением скорости и режимов работы.

### **7.9 Основные функциональные возможности коммутаторов .**

Среди большого числа функций, выполняемых коммутаторами, следует отметить следующие, как наиболее важные и часто используемые администраторами при настройке коммутаторов:

1) реализация виртуальных локальных сетей ((Virtual Local Area Network - VLAN), позволяющая с помощью коммутатора внутри одной физической сети построить несколько виртуальных (логических) сетей, что можно сделать следующими способами:

- на основе стандарта IEEE 802.1Q, когда используется дополнительное поле кадра размером 12 бит для хранения информации о принадлежности этого кадра к VLAN при его перемещении по сети;
- на основе стандарта IEEE 802.1 ad, когда используются два дополнительных поля кадра, каждое размером 12 бит,
- на основе портов коммутаторов (port-based VLAN), когда каждый порт назначается строго определенной VLAN, независимо от того, какой компьютер подключен к этому порту. При этом конфигурация портов - статическая и может быть изменена только вручную.
- на основе группировки MAC – адресов кадров, реализация которой требует большого количества ручных операций от администратора сети при связи многих устройств в одну VLAN. и т. д.

Использование технологии виртуальных сетей позволяет:

- увеличить производительность АСОИиУ за счет возможности параллельной работы каждой из ЛВС, входящей в ее состав;
- увеличить надежность работы АСОИиУ за счет изоляции ЛВС друг от друга и создания защитных барьеров на пути движения пакетов между этими сетями;
- обеспечить безопасность передачи данных между соединяемыми VLAN сетями;

2) приоритизация трафика (Priority tags), позволяющая коммутаторам обеспечить поддержку технологий качества обслуживания (Quality of Service - QoS) с помощью приоритетной обработки поступающих кадров, отсортировать весь трафик по степени его

важности, выставив приоритеты. Кадры, имеющие более высокую важность, будут отправлены в первую очередь. Приоритет обработки кадра может быть задан различными способами:

- наличием в кадре номера приоритета, задаваемого согласно стандарта на Ethernet IEEE 802.1p в дополнительном поле, состоящем из 3 бит. Приоритет кадра задается номерами от 0 до 7, где 7 – наивысший приоритет;
- наличием в заголовке IP пакета в однобайтовом поле тип сервиса (Type of Service – TOS) номера приоритетной обработки этого пакета;
- наличием приоритета у порта коммутатора, на вход которого поступает кадр;

3) контроль доступа компьютеров в сеть на основе их IP и MAC – адресов, а также порта подключения (IP MAC Port Binding – IMPB). Это позволяет администратору создавать списки управления доступом (Access Control List- ACL), связывающие IP и MAC- адреса компьютеров с портами подключения коммутатора. Списки управления доступом состоят из профилей доступа (Access Profile) и правил (Rule). Профили доступа определяют типы критериев фильтрации, которые должны проверяться в пакете данных (например, MAC-адрес, IP-адрес, номер порта и т.д.), а в правилах указываются непосредственные значения их параметров. Каждый профиль может состоять из множества правил.

Коммутатор проверяет параметры поступающих пакетов данных на совпадение с критериями фильтрации, определенными в ACL, и выполняет над пакетами одно из действий: Разрешить (Permit) доступ в сеть или запретить (Deny) доступ в сеть;

4) агрегирование каналов (Link aggregation for parallel links) повышает пропускную способность канала, объединяя несколько физических портов в один логический. Согласно стандарта IEEE 802.3ad, максимальная пропускная способность агрегированного канала может достигать 8 Гбит/с

5) управление потоком (Flow Control), предусматривает согласно протокола IEEE 802.3x, согласование приема-отправки данных между отправляющим устройством и коммутатором при высоких нагрузках, для того, чтобы избежать потерь пакетов;

6) увеличенный размер пакета (Jumbo Frame), позволяет увеличить размер пакета до 9216 байт и ускорить передачу данных за счет уменьшения количества передаваемых пакетов и объема служебной информации, а следовательно и времени затрачиваемого на их обработку. Эту функцию особенно целесообразно использовать в коммутаторах, имеющих скорости портов от 1 Гбит/с и выше.

7) повышенная отказоустойчивость всей ЛВС за счет использования следующих протоколов:

- протокол связующего дерева (Spanning Tree Protocol - STP), стандарт IEEE 802.1d, является протоколом 2-го уровня модели OSI. Позволяет строить древовидные, свободные от петель, конфигурации связи между коммутаторами ЛВС. Структура ЛВС изначально строится с избыточным количеством линий связи. "Лишние" линии связи, во избежание закольцовывания, данный протокол временно отключает, приводя всю структуру ЛВС к древовидному виду. При обрыве какой-либо действующей линии связи протокол самостоятельно ищет новый кратчайший путь связи, восстанавливая тем самым работу ЛВС;

- скоростной протокол связующего дерева (Rapid Spanning Tree Protocol - RSTP), стандарт IEEE 802.1w. Усовершенствованный протокол по сравнению с протоколом STP, обладает более высокой устойчивостью и меньшим временем "восстановления" линии связи;

- расширенный скоростной протокол связующего дерева протокол (Multiple Spanning Tree Protocol -MSTP), стандарт IEEE 802.1s. Является наиболее современным протоколом, учитывающим все достоинства и недостатки предыдущих протоколов. Позволяет настраивать отдельное связующее дерево для любой VLAN или группы VLAN, создавая множество маршрутов передачи трафика и позволяя осуществлять балансировку нагрузки между отдельными VLAN..

8) защита от "петель" обеспечивает дополнительную защиту от образования петель на уровне 2 модели OSI. Существует две реализации этой функции:

- функция LoopBack Detection STP предназначена для отслеживания таких ситуаций и временного блокирования тех портов коммутатора, на которых обнаружены петли, тем самым предотвращая проблемы в сети. Коммутатор определяет наличие петли, когда отправленный им кадр обмена информацией (Bridge Protocol Data Units-BPDU) в протоколе STP, вернулся назад на другой его порт. В этом случае порт-источник кадра BPDU и порт-приемник будут автоматически заблокированы и администратору сети будет отправлен служебный пакет-уведомление. Следует отметить, что функция LoopBack Detection STP не определяет петлю, когда отправленный кадр BPDU вернулся назад на этот же порт.
- функция LoopBack Detection Independent STP. определяет петлю, когда отправленный кадр BPDU вернулся назад на этот же порт коммутатора.

9) автоопределение типа подключения интерфейсного кабеля к коммутатору, прямое или перекрестное. Существует два типа интерфейсов: интерфейс, зависящий от среды. (Medium Dependent Interface – MDI) и интерфейс, зависящий от среды, с перекрещиванием (Medium Dependent Interface crossover - MDIX ), в каждом из которых пары контактов 1-2 и 3-6 имеют разное назначение в режиме прием/передача. Функция (Medium Dependent Interface/ Medium Dependent Interface crossover - MDI/MDIX), встроенная в коммутатор, автоматически определяет назначение контактов, т.е. таблицу T-568A или T-568B стандарта EIA/TIA-568, согласно которой проведен обжим разъемов витой пары и позволяет правильно работать интерфейсным кабелям в сети независимо от того, как они обжаты.

10) поддержка технологии передачи электропитания по неиспользуемым парам кабеля типа «витая пара» LBC Ethernet (Power over Ethernet - PoE) одновременно с передачей данных, стандарт IEEE 802.af. Это позволяет использовать коммутаторы для питания подключенных к их портам разных устройств, например, точек беспроводного доступа и т.д.

11) управление скоростью вращения вентилятора, т.е. поддержка функции Smart Fan, благодаря которой вентилятор может автоматически изменять скорость вращения, т. е. увеличивать ее при увеличении тепловыделения в коммутаторе и уменьшать в противном случае.

12) применение энергосберегающей технологии (Green Ethernet), позволяет коммутаторам существенно, на 50% и более, сократить необоснованные расходы электроэнергии. Применение технологии Green Ethernet позволяет коммутатору путем опроса состояния портов получать информацию об их активности и, при необходимости, автоматически отключать неактивные порты. Кроме того, данная технология предусматривает автоматическое изменение уровня передаваемого сигнала в зависимости от длины используемых кабелей. Получается, что технология Green Ethernet предлагает администратору сети два способа для снижения энергопотребления коммутатора.



13) защита коммутатора от вирусов и вредоносного программного обеспечения (SafeGuard Engine), позволяет повысить безопасность надежность и стабильность работы коммутатора. Представляет собой механизм защиты центрального процессора коммутатора от обработки вредоносных программ и обеспечения своевременной обработки пакетов служебных протоколов.

#### **7.10 Условия эксплуатации коммутаторов**

После настройки и ввода коммутаторов в работу следует соблюдать следующие типовые условия их эксплуатации:

- температура окружающей среды от 0 до 40 °С;
- температура хранения от - 10 °С до 70 °С;
- относительная рабочая влажность воздуха от 10 % до 90 %;
- режим работы обычно круглосуточный, при этом среднее время наработки на отказ составляет не менее 200000 часов;
- использовать силовой фильтр, линейный выпрямитель или источник бесперебойного питания для защиты устройства от внезапных скачков электропитания.

## Лекция 8 Установка, монтаж, эксплуатация и модернизация распределенных АСОИУ, построенных на базе сетей беспроводной передачи данных. Беспроводные сети персональных ЭВМ, беспроводные локальные сети, беспроводные городские и региональные сети, спутниковые сети.

### 8.1. Типы беспроводных сетей для построения АСОИУ

По радиусу действия и назначению современные беспроводные сети можно разделить на следующие группы:

- 1) персональные (Wireless Personal Area Network — WPAN);
- 2) локальные (Wireless Local Area Network — WLAN);
- 3) городские (Wireless Metropolitan Area Network — WMAN);
- 4) глобальные или региональные (Wireless Wide Area Network — WWAN);
- 5) спутниковые (Wireless Spynik Area Network — WSA).

### 8.2 Беспроводные сети ПЭВМ

Беспроводные персональные сети используют для связи ПЭВМ и отдельных устройств, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

Технология Bluetooth, все устройства, выполненные по этой технологии, работают на частоте 2,40...2,48 ГГц. Различают следующие спецификации Bluetooth:

- Bluetooth 1.0 со скоростью передачи данных до 720 Кбит/с и дальностью передачи без препятствий до 100 м, а в случае препятствий — до 10 м.

Различают три класса технологии Bluetooth 1.0, характеристики которых приведены в табл.8.1

Технические характеристики технологий Bluetooth 1.0 Таблица 8.1

Класс	Максимальная мощность передатчика		Радиус действия (м)
	мВт	дБм	
1	100	20	100
2	4	6	10
3	1	0	0,1

Чувствительность приемника должна быть не хуже (- 70дБм.) . Желательно, чтобы приемник имел индикатор мощности входного сигнала. Ошибка приема бита (Bit Error Ratio - BER) для приемника должна находиться на уровне менее 0,1%

- Bluetooth 1.2 со скоростью передачи до 1 Мбит/с и улучшенным качеством передачи голоса;
- Bluetooth 2.0 +EDR с ускоренной передачей данных (Enhanced Data Rate -EDR), с номинальной скоростью до 3 Мбит/с, но практически скорость передачи не более 2,1 Мбит/с.
- Bluetooth 2.1+EDR с ускоренной передачей данных и наличием режима энергосберегающей технологии, позволяющего снизить потребление энергии в 5 раз;
- Bluetooth 3.0 + HS с большой скоростью передачи данных (High Speed-HS), теоретически возможная скорость до 24 Мбит/с, практически меньше;
- Bluetooth 4.0 включает в себя классический, высокоскоростной и с низким энергопотреблением. Стандарт предусматривает время установления соединения между двумя Bluetooth-устройствами менее чем за 5 мс, скорость передачи данных в 1 Мбит/с при размере пакета данных 8—27 байт. и расстоянии передачи до 100 м.

### 8.3 Беспроводные ЛВС

Беспроводные локальные сети (БЛВС) используются для объединения в сеть ПЭВМ, расположенных на значительном расстоянии друг от друга (до 100 м). Такие беспроводные сети называют сетями Wi-Fi (Wireless Fidelity –Wi-Fi). Разработкой стандартов Wi-Fi сетей занимается институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE). Технические характеристики сетей WI-Fi стандартов семейства IEEE 802.11 приведены в табл. 8.2

Технические характеристики Wi-Fi сетей стандартов семейства IEEE 802.11 Таблица 8.2

Стандарт IEEE 802.11	Частота, ГГц	Максимальная теоретическая скорость передачи данных,
802.11b	2,4	11 Мбит/с
802.11a	5,0	54 Мбит/с
802.11g	2,4	54 Мбит/с
802.11n (*)	2,4; 5,0	600 Мбит/с
802.11ac (*)	5,0	6,9 Гбит/с
802.11ad (**)	2,4; 5,0; 60	7 Гбит/с
802.11as (**)	135	20 Гбит/с

(\*) – стандарт IEEE 802.11n принят в 2002 году, а стандарт IEEE 802.11ac принят в январе 2014 года.

(\*\*) – стандарты находятся в стадии доработки и пока не приняты

Дальность связи (т. е. радиус действия сети) для всех стандартов, кроме IEEE 802.11ad и IEEE 802.11as, одинаков и равен 100 м. Для IEEE 802.11ad и IEEE 802.11as дальность связи ограничена размерами комнаты.

В широко используемой БЛВС стандарта IEEE 802.11n применяется технология ММО (Multiple Input Multiple Output) — несколько входов и несколько выходов у точки доступа и узла сети. Этот стандарт допускает объединение двух 20 МГц каналов в один с шириной полосы пропускания в 40 МГц, в прежних стандартах она всегда составляла 20 МГц. В диапазоне 2,4 ГГц из-за использования 40-мегагерцевых полос число реально доступных каналов ограничено тремя, а в диапазоне 5 ГГц доступны 23 канала шириной 20 МГц или 11 каналов шириной 40 МГц.

Использование пространственного мультиплексирования позволяет передавать несколько потоков данных на одном и том же частотном канале, что дает возможность увеличить пропускную способность канала до 150 Мбит/с. При использовании двух каналов скорость передачи данных достигает 300 Мбит/с., трех - до 450 Мбит/с, а четырех - до 600 Мбит/с.

В БЛВС стандарта IEEE 802.11ac для передачи данных объединяют уже четыре параллельных канала в один, шириной 80 МГц. Поэтому БЛВС стандарта IEEE 802.11ac имеют более высокую скорость передачи данных по сравнению с прежними стандартами, более надежны и помехоустойчивы, поскольку, если обычный канал шириной 20 МГц полностью подавляется помехами, данные передаются по трем другим каналам. В стандарте IEEE 802.11ac имеем пять неперекрывающихся 80-мегагерцевых каналов и допускается объединение двух каналов в один канал шириной 160 МГц, но это возможно только для двух каналов из пяти неперекрывающихся.

В БЛВС стандарта IEEE 802.11ac использована усовершенствованная технология ММО, называемая многопользовательская ММО, т. е. MU-MIMO (MultiUser-MIMO) которая позволяет, во-первых, разделить один канал между несколькими клиентами, а во-вторых, позволяет динамически менять диаграмму направленности неподвижных антенн в зависимости от местоположения устройства и усиливать сигнал в нужном направлении

Формирование диаграммы направленности позволяет, с одной стороны, увеличить дальность и скорость соединения на открытой территории, а с другой — преодолевать препятствия в виде стен. Поскольку для диапазона 5 ГГц, в котором работают БЛВС стандарта IEEE 802.11ac, ослабление сигнала по мощности намного сильнее, чем в диапазоне 2,4 ГГц, то это очень важная и существенная модификация технологии ММО. MU-MIMO поддерживает технологию формирования направленного сигнала (beamforming), которая позволяет определить положение устройства в сети и целенаправленно передавать на это устройство несколько потоков данных одновременно. Поддержка технологии beamforming имеется и в стандарте IEEE 802.11n, но она работает только между Wi-Fi адаптерами одного производителя.

Если стандарт IEEE 802.11n предусматривает до четырех пространственных потоков, то в IEEE 802.11ac их может быть до восьми. Согласно стандарта IEEE 802.11ac, точка доступа с 8-ю антеннами способна эффективно взаимодействовать с 4-мя различными устройствами, каждое из которых оснащено 2-мя антеннами.

Поэтому точка доступа может одновременно передавать данные по 8-ми каналам.. При ширине канала 160 МГц (8 каналов по 20 МГц) скорость передачи по каналу составляет 864 Мбит/с. (54 Мбит/с \* 2 \* 8 = 864 Мбит/с).

Поэтому при 8-ми каналах, при ширине каждого канала 160 МГц, максимальная теоретическая скорость передачи данных для точки доступа составляет  $864 \cdot 8 = 6912$  Мбит/с, почти 7 Гбит/с.

Благодаря хорошей помехоустойчивости, реальная дальность связи БЛВС стандарта IEEE 802.11ac также увеличивается по сравнению со стандартом IEEE 802.11n, что крайне привлекательно и важно с точки зрения практического использования.

Реальная скорость  $v$  передачи данных в БЛВС всегда меньше теоретической вследствие влияния на нее следующих факторов:

$$v = f(C, L, N, PB, PP, M, K), \quad (9.1)$$

где  $C$  — служебная информация;  $L$  — расстояние между узлом сети и точкой доступа;  $N$  — количество и типы преград, расположенных между узлом сети и точкой доступа;  $PB$  — радиочастотные помехи от других точек доступа;  $PP$  — помехи от перекрывающихся частотных каналов;  $M$  — тип модели точки доступа;  $K$  — конфигурация сети.

При эксплуатации беспроводной сети для обеспечения ее качественного функционирования требуется соблюдать следующие рекомендации по размещению точек доступа, настройке их рабочих параметров и комплектации устройств антеннами:

1. Соседние точки доступа следует настраивать на неперекрывающиеся частотные каналы и располагать их в вершинах равностороннего треугольника обслуживаемого ими пространства, чтобы уменьшить взаимное влияние радиочастотных помех.
2. Соседние точки доступа, работающие на одном и том же частотном канале, рекомендуется размещать на расстоянии не менее 35 м друг от друга, чтобы их сигналы не очень сильно перекрывались.
3. При размещении точек доступа следует иметь в виду, что сигналы оборудования стандарта IEEE 802.11a (частота 5 ГГц) намного хуже проходят сквозь стены и потолки чем сигналы оборудования стандартов IEEE 802.11b и IEEE 802.11g (частота 2,4 ГГц), что существенно сокращает дальность связи. Однако для сетей стандартов IEEE 802.11b и IEEE 802.11g источниками радиочастотных помех могут быть многие устройства, работающие на частоте 2,4 ГГц, что также сокращает дальность связи.
4. Для закрытых помещений при большом числе узлов сети следует проводить обследование помещений для оптимального размещения точек доступа и корректной настройки мощности радиосигналов, излучаемых точкой доступа и (или) узлами, чтобы уменьшить степень влияния взаимных помех на работу устройств беспроводной сети.
5. При выборе типа антенны для точки доступа следует иметь в виду, что антенна - это и излучатель радиоволн, и их приемник. Конструкция антенны определяет зону покрытия точки доступа беспроводной сети, т.е. ту зону, в которой сигнал, излучаемый точкой доступа, способны принять устройства беспроводной сети. Для сетей Wi-Fi существуют направленные и секторные антенны, которые могут быть как наружными (внешними и размещенными на стенах здания), так и внутренними, размещенными внутри помещений.

Для антенн, предназначенных для работы в условиях внешней среды, обычно указывают максимально допустимые порывы ветра, границы рабочей температуры и влажность окружающей среды. Так для внешней антенны фирмы D-Link с кодовым названием ANT70-0800 указанные параметры соответственно имеют следующие значения: 55,5 м/с; от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ; от 5% до 95 %.

Направленные антенны формируют зону распространения сигнала в виде конуса с углом 10–15 градусов и облучают только выделенное направление.

Секторные антенны имеют сложную диаграмму направленности, охватывающую горизонтальную и вертикальную плоскости. Так, в горизонтальной плоскости это обычно сектор с углом 30–90 градусов, а в вертикальной плоскости это сектор с углом от 60 до 120 градусов. Обычно для секторной антенны указывают ширину диаграммы направленности как для горизонтальной плоскости, так и для вертикальной плоскости.

Основное преимущество секторных антенн по сравнению с направленными антеннами состоит в том, что они облучают более широкий пространственный сектор. Например, чтобы покрыть всю комнату сигналом от беспроводной точки доступа, в углу этой комнаты следует поставить точку доступа с секторной Wi-Fi антенной с углом раскрытия по горизонтальной плоскости 90 градусов

Направленные антенны следует устанавливать в углу комнат здания у внешних стен с направлением антенны внутрь здания так, чтобы минимизировать зону охвата внешней части здания и нежелательных рабочих помещений.

6. При выборе антенн одной из важнейших их характеристик является коэффициент усиления антенны, который измеряется в изотропных децибелах (dBi).

Коэффициент усиления антенны определяет, насколько децибел поток энергии, излучаемый антенной в определенном направлении, больше потока энергии, который был бы зафиксирован в этом направлении в случае использования изотропной антенны.

Изотропная антенна - это идеальная, условная, антенна, точечный источник электромагнитных волн, излучающая равномерно по всем направлениям, диаграмма направленности которой представляет собой сферу, а коэффициент усиления которой равен единице.

Так, например, если коэффициент усиления антенны составляет 5 dBi, то имеется в виду то направление, в котором достигается максимальная мощность излучения (главный лепесток диаграммы направленности). Это означает, что в этом направлении мощность излучения на 5 дБ больше, чем мощность излучения идеальной изотропной антенны

5дБ соответствует увеличению мощности в 3,16 раза поскольку имеем:

$$5 = 10 \lg k_a / 1 = 10 \lg k_a \quad k_a = 3,16$$

а 10 дБ соответствует увеличению мощности в 10 раз, поскольку имеем:

$$10 = 10 \lg k_a / 1 = 10 \lg k_a \quad k_a = 10$$

Так, например, при использовании беспроводной точки доступа с мощностью передатчика 20 dBm (или 100 мВт) и направленной антенной с коэффициентом усиления 10 dBi мощность сигнала в направлении максимального усиления антенны составит

$$20 \text{ dBm} + 10 \text{ dBi} = 30 \text{ dBm}$$

(или 1000 мВт), то есть в 10 раз больше, чем в случае применения изотропной антенны.

Коэффициент усиления наружных антенн обычно больше, чем коэффициент усиления внутренних, а коэффициент усиления направленных антенн больше чем коэффициент усиления секторных. Так для большинства антенн сетей Wi-Fi фирмы D-Link коэффициент усиления наружных антенн составляет от 9 dBi до 21 dBi, а коэффициент усиления внутренних антенн от 6 dBi до 9 dBi.

7. Настройку рабочих параметров беспроводной точки доступа производят посредством интернет-браузера (*Web Browser*, например, Mozilla Firefox), размещенного на рабочем компьютере, подключенном к точке доступа.

После запуска браузера следует обратиться по адресу <http://192.168.1.1>. После того как появится окно начала настройки, следует ввести имя пользователя и пароль, которые можно найти в руководстве пользователя точки доступа или на её задней панели. На открывшейся странице можно ознакомиться с имеющимися настройками.

Настройка беспроводной точки доступа является многопараметрической: последовательно задают IP-адрес устройства, маску подсети, IP-адрес шлюза, число подключаемых узлов, режим обслуживания клиентов и т. д..

При настройке рабочих параметров точки доступа также следует:

- установить стандарт сети Wi-Fi, который она поддерживает;
- установить номер частотного канала беспроводной связи, при этом для близко расположенных соседних точек доступа рекомендуется использовать номера из набора непересекающихся частотных каналов, указанных в инструкции пользователя;
- задать идентификатор беспроводной сети, т. е. SSID (Service Set Identifier -SSID), который представляет собой условное название беспроводной сети, имя точки доступа. Идентификатор может иметь длину до 32 символов и содержать буквы и цифры. Следует помнить, что точка доступа передает свой идентификатор сети с помощью специальных пакетов со скоростью 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Это позволяет с одной стороны обнаружить её и легко подключиться, а с другой стороны может предоставлять угрозу безопасности сети. Поэтому при необходимости можно скрыть точку доступа, отключить режим широковещания, используя команду (Disable SSID Broadcasting);
- задать в явном виде скорость передачи данных по беспроводному каналу связи или установить режим автоматического определения этой скорости;
- задать мощность работы передатчика, но не более 100 мВт, поскольку в России разрешается использовать сети Wi-Fi без лицензии и разрешений, если Wi-Fi устройство имеет эквивалентную изотропно-излучающую мощность не более 100 мВт.

8. При настройке рабочих параметров маршрутизатора с подключенной к нему точки доступа следует корректно установить для них IP-адреса, чтобы маршрутизатор, к которому подключена точка доступа, имел IP-адрес из той же подсети, что и точка доступа. Если, например, точка доступа имеет IP-адрес 192.168.1.254, тогда маршрутизатору необходимо присвоить статический IP-адрес 192.168.1.x (например, 192.168.1.100) с маской подсети 255.255.255.0.

9. Для управления подключениями компьютеров к точкам доступа беспроводных ЛВС следует создавать профили. Профиль - это набор настроек, которые определяют, как компьютер подключается к точке доступа беспроводной сети. Профиль, размещенный на компьютере, включает имя профиля (например, HOME) и идентификатор беспроводной сети (SSID), который был задан при настройке соответствующей точки доступа. Профили хранятся в компьютере и используются при каждом подключении к беспроводной локальной сети. В профиле содержится вся информация о сети, а также настройки защиты. В компьютере пользователя каждая беспроводная сеть, к которой он может подключиться, должна иметь собственный профиль для управления подключением к этой сети. Профили можно создавать, изменять и удалять.

10. При оценке допустимой дальности размещения узла сети от точки доступа следует использовать основную формулу радиосвязи, которая устанавливает зависимость потерь

мощности сигнала  $P_{\Pi}$  от пройденного им расстояния  $L$  и длины волны  $\lambda$  и имеет следующий вид:

$$P_{\Pi} = 10 \lg(4\pi L/\lambda)^2 = 10 \lg(4\pi Lf/c_0)^2, \quad (8.2)$$

где  $P_{\Pi}$  — потери мощности сигнала на пути от точки доступа до узла сети, дБ;  $L$  — расстояние между точкой доступа и узлом сети, м;  $\lambda = c_0/f$  — длина волны, излучаемой передатчиком, м;  $c_0$  — скорость света в вакууме,  $c_0 = 300\,000$  км/с;  $f$  — частота передачи радиосигнала, ГГц.

На практике применяют следующие типовые значения длины волны:

если  $f = 14$  ГГц, то  $\lambda = 30 \cdot 10^7 / 14 \cdot 10^9 = 2,1 \cdot 10^{-2}$  м;

если  $f = 5$  ГГц, то  $\lambda = 30 \cdot 10^7 / 5 \cdot 10^9 = 6,0 \cdot 10^{-2}$  м;

если  $f = 2,4$  ГГц, то  $\lambda = 30 \cdot 10^7 / 2,4 \cdot 10^9 = 12,5 \cdot 10^{-2}$  м.

После преобразования выражения (9.2) получаем

$$P_{\Pi} = 20 \lg(4\pi Lf/c_0) = 20 [\lg(4\pi) + \lg L + \lg f - \lg c_0]. \quad (8.3)$$

С учетом единиц дальности (м), частоты (ГГц) и мощности (дБ) имеем

$$L_{\max} = 10^{\left( \frac{-P_{\Pi} - 32,5}{20} - \lg f \right)}, \quad (8.4)$$

где  $P_{\Pi} < 0$ .

**Пример 8.1.** Определите максимальное расстояние, на котором в помещении, на скорости 54 Мбит/с, будет стабильно работать беспроводная ЛВС стандарта 802.11g. Допустимые потери мощности сигнала соответственно равны: для первого варианта  $P_{\Pi 1} = -74$  дБ и для второго варианта  $P_{\Pi 2} = -79$  дБ, а частота работы сети  $f = 2,4$  ГГц.

*Решение.* 1) используя выражение (9.4), для первого варианта имеем

$$L_{\max} = 10^{\left( \frac{-P_{\Pi} - 32,5}{20} - \lg f \right)} = 10^{\left( \frac{74 - 32,5}{20} - \lg 2,4 \right)} = 10^{(2,075 - 0,380)} = 49,5 \text{ м};$$

2) используя выражение (9.4), для второго варианта имеем

$$L_{\max} = 10^{\left( \frac{-P_{\Pi} - 32,5}{20} - \lg f \right)} = 10^{\left( \frac{79 - 32,5}{20} - \lg 2,4 \right)} = 10^{(2,325 - 0,380)} = 88,1 \text{ м};$$

3) дальность радиосвязи увеличилась почти в 1,8 раза.

#### 8.4 Беспроводные городские сети

Беспроводные сети масштаба города работают на основе телекоммуникационной широкополосной технологии предоставления пользователям беспроводного доступа в сеть, известной как WiMAX. (Worldwide Interoperability for Microwave Access), Эта технология позволяет, используя базовые станции, объединить в сеть отдельные ПЭВМ, расположенные друг от друга на расстоянии в несколько километров.

Зона радиоохвата каждой базовой станции составляет до 80 км<sup>2</sup>, а радиус ее действия при наличии прямой видимости до 25 км., а при отсутствии до 5-8 км.

При невозможности организации прямой видимости беспроводной связи между базовыми станциями, они могут быть соединены проводной линией связи.

Разработкой стандартов сетей WiMAX занимается американский институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Опубликовано и принято несколько стандартов на сети WiMAX, известные как IEEE 802.16 Беспроводные сети, построенные на базе этих стандартов, предоставляют пользователям широкие возможности: видеотелефонию, передачу голоса и данных.

Эти стандарты отличаются следующие особенности.

- Стандарт IEEE 802.16d WiMAX, Эти сети предоставляют услуги только неподвижным (стационарным) абонентам в двух радиочастотных диапазонах 3,5 ГГц и 5 ГГц.. Скорость передачи данных в зоне покрытия сети, при отсутствии помех, может достигать 75- 100 Мбит/с, а при наличии помех снижаться до 10 Мбит/с.
- Стандарт IEEE 802.16e Mobile WiMAX, касается мобильных беспроводных сетей WiMAX. В РФ для этих сетей используется диапазон частот 2,5 ГГц. Мобильный WiMAX предоставляет пользователям возможность передвигаться в зоне покрытия сети со скоростью до 120 км/час. При расположении пользователей на расстоянии до 5 км от базовой станции, скорость передачи данных в сети может составлять до 40 Мбит/с. С увеличением скорости передвижения пользователей в зоне покрытия сети и/или расстояния пользователей от базовой станции скорость передачи данных уменьшается и может достигать всего нескольких Мбит/с.
- Стандарт IEEE 802.16m WiMAX 2, известный как усовершенствованная беспроводная сеть масштаба города (Wireless Metropolitan Area Network Advanced - WMAN Advanced), принят в 2010 году. Стандарт касается беспроводных сетей, ориентированных на работу как стационарных, так и мобильных пользователей. Был официально включен в число стандартов связи беспроводных сетей четвертого поколения (*fourth generation*- 4G), поскольку отвечает основным требованиям, предъявляемым к передовым международным мобильным телекоммуникационным системам (International Mobile Telecommunications Advanced – IMT Advanced ). Согласно этих требований сети четвертого поколения (4G) должны для стационарных объектов и объектов, перемещающихся со скоростью до 10 км/час, обеспечивать скорость передачи не менее 1 Гбит/с, а для подвижных объектов, перемещающихся со скоростью от 10 км/час до 120 км/час, не менее 100 Мбит/с. Поэтому беспроводные сети WiMAX 2 – это сети четвертого поколения.
- Стандарт IEEE 802.16n (беспроводная сеть стандарта WiMAX 3.0) находится в стадии разработки. Беспроводная сеть стандарта WiMAX 3 должна предоставить пользователям фантастические скорости обмена информацией: в случае стационарной связи до 10 Гбит/с, а при мобильной связи до 1 Гбит/с.

### 8.5 Беспроводные региональные сети

Региональные сети обслуживают зоны размером в десятки и сотни километров и работают на базе следующих технологий:

- GSM (Global Standard for Mobile Communications) — глобальный стандарт для мобильной сотовой связи с разделением канала, который обеспечивает скорость передачи данных до 9,6 Кбит/с;
- GPRS (General Packet Radio Service —GPRS) пакетная передача данных по радиосетям общего пользования), является надстройкой над технологией мобильной радиосвязи GSM и позволяет передавать данные на существенно более высоких скоростях, чем в обычной GSM сети. Обеспечивает максимальную теоретическую скорость передачи данных до 170 кбит/с, практически до 115 Мбит/с. Голосовой трафик и данные собираются в пакеты, при этом голосовой трафик имеет приоритет



Абоненту, подключенному к GPRS, предоставляется виртуальный канал, который на время передачи пакета становится реальным, а в остальное время используется для передачи пакетов других пользователей. Поскольку один канал могут использовать несколько абонентов, то возможно возникновение очереди на передачу пакетов, и, как следствие, задержка передачи пакетов.

- EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) – улучшенные скорости передачи данных для эволюции GSM-стандарта. Эта технология направлена на обеспечение более высоких скоростей передачи данных по сравнению с GPRS. Позволяет получить скорости передачи данных до 384 Кбит/с – 473,6 Кбит/с. За счет всех новшеств удалось увеличить скорость передачи данных в сетях EDGE, по сравнению с GPRS, почти в три раза

- HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) – высокоскоростная пакетная передача данных от базовой станции к мобильному устройству. Эта технология, использует квадратурно - амплитудный метод модуляции (Quadrature amplitude modulation – 16 QAM), а также скоростную систему автоматических повторных запросов (Hybrid automatic repeat request- HARQ), которая предназначена для осуществления повторных запросов для потерянных либо испорченных ошибками пакетов. Комплекс нововведений позволил более чем в 7 раз увеличить скорость передачи данных в направлении от базовой станции к мобильному устройству, в частности к телефону. Технология HSDPA обеспечивает теоретическую скорость передачи данных до 14,4 Мбит/с. Однако реальная скорость передачи данных в сетях с поддержкой технологии HSDPA составляет не более 3,6 Мбит/с, но и это позволяет пользователю мобильного устройства использовать услуги видеосвязи, в частности, осуществлять просмотр видео высокой четкости

- HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) - высокоскоростной пакетный доступ в восходящем направлении, т.е. высокоскоростная пакетная передача данных от мобильного устройства к базовой станции.

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) Это технология мобильной связи третьего поколения (*third generation* — 3G) поскольку позволяет в диапазоне частот около 2 ГГц передавать данные, голос, а также видеоинформацию (смотреть фильмы на мобильном телефоне) со скоростью до 7,2 Мбит/с.

При создании региональных сетей на базе рассмотренных технологий, как правило, используют радиорелейные линии связи (РРЛС) — цепочки приемопередатчиков, расположенных в прямой видимости на расстоянии 25...100 км и имеющих мощные антенны.

Диаметр антенн составляет 3,5...5,0 м, а высота антенн — 20...200 м.

Коэффициент усиления антенн находится в пределах 30...45 дБ.

Расстояние между соседними приемопередатчиками в случае прямой видимости приближенно определяют в километрах по формуле

$$L = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (8.4)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — высоты антенных опор, м.

Следует иметь в виду, что нормальная рефракция радиоволн искривляет их траектории в сторону поверхности Земли, что увеличивает дальность радиосвязи, и тогда

$$L = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (8.5)$$

Для организации магистральной радиорелейной сети связи используют тропосферную связь. В этом случае дальность радиосвязи определяется по формуле

$$L = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} + \sqrt{h_3}), \quad (8.6)$$

где  $h_3$  — нижняя граница видимой приемопередатчиками области тропосферы,  $h_3 = 10\,000 - 13\,000$  м.

## 8.6 Беспроводные спутниковые сети

Спутниковые системы связи используют следующие типы орбит:

- геостационарные околоземные орбиты (Geostationary Earth Orbit — GEO), которые характеризуются тем, что если находящиеся на ней спутники движутся с угловыми скоростями, равными угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси, то с поверхности Земли они кажутся неподвижными. Высота этих орбит около 35 000...36 000 км, а задержка распространения сигнала от абонента к спутнику и обратно составляет около 300 мс;

- средневысотные околоземные круговые орбиты (Medium Earth Orbit — MEO), расположенные на высоте 5 000...15 000 км от поверхности Земли. Диаметр зоны обслуживания доходит до 15 000 км. Двойная задержка распространения сигнала через спутник-ретранслятор составляет не более 140 мс, что практически неуловимо для человеческого уха.

- низковысотные круговые орбиты (Low Earth Orbit — LEO), находящиеся на расстоянии 700...1 500 км от поверхности Земли. Двойная задержка распространения сигнала составляет до 30 мс, зона обслуживания каждого спутника — не более 8 000 км.

Задержка связи между двумя наземными абонентами, расположенными непосредственно под спутником, который находится на круговой орбите на высоте 35 700 км над поверхностью Земли, в действительности существенна и составляет  $(2 \times 35\,700) / 300\,000 = 0,24$  с.

Максимальное время задержки сигнала от источника к адресату при использовании спутниковой системы связи, когда спутник находится на геостационарной орбите, определяется из выражения

$$t_{\max} = \frac{2L}{c_0} = \frac{2H}{c_0} \sqrt{1 + \frac{2R}{H} + \frac{2R^2}{H^2}} \approx \frac{2H}{c_0} \sqrt{1 + \frac{2R}{H}},$$

где  $L$  — расстояние от источника сигнала до спутника (или от спутника до адресата),

$$L = \sqrt{R^2 + (R + H)^2}. \quad (8.8)$$

Поскольку скорость света в вакууме  $c_0 = 300\,000$  км/с, радиус Земли  $R = 6\,370$  км, расстояние от поверхности Земли до геостационарной орбиты

$H = 35\,700$  км то имеем

$$t_{\max} \approx \frac{2H}{c_0} \sqrt{1 + \frac{2R}{H}} \approx \frac{2 \cdot 35\,700}{300\,000} \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 6\,370}{35\,700}} \approx 0,28 \text{ с} = 280 \text{ мс}.$$

Для спутника, вращающегося по геостационарной орбите и работающего на частоте 14 ГГц ( $\lambda = 0,0214$  м), затухание сигнала, идущего с Земли к нему или обратно, определяют по формуле и составляет около 200 дБ.

Для нормального функционирования спутниковой сети связи должно быть выполнено условие

$$\Theta_a < \Theta_c,$$

где  $\Theta_a$  — ширина диаграммы направленности антенны;  $\Theta_c$  — дрейф спутника, обычно в пределах  $\Theta_c \leq 5^\circ$ .

Значение  $\Theta_a$  определяют из следующего выражения

$$\Theta_a = \frac{57,3\lambda}{D}, \quad (8.10)$$

где  $\lambda$  — длина волны сигнала, идущего со спутника,

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{300\,000\,000 \text{ м/с}}{14 \cdot 10^9 \text{ Гц}} = 0,0214 \text{ м} \quad \text{м}$$

$D$  — диаметр антенны на рабочей станции,  $D = 150 \dots 350$  см.

**Пример 8.2** Оцените качество работы спутниковой сети связи, если она имеет следующие характеристики: дрейф спутника  $\Theta_c = 5^\circ$ , частота работы передатчика  $f = 14 \cdot 10^9$  Гц, диаметр наземной антенны  $D = 150$  см.

*Решение.* После подстановки исходных данных в выражение (4.23) получим

$$\Theta_a = \frac{57,3\lambda}{D} = \frac{57,3c}{Df} = \frac{57,3 \cdot 300\,000\,000}{150 \cdot 14 \cdot 10^9} = 0,8^\circ.$$

Поскольку условие  $\Theta_a < \Theta_c$  выполнено, так как  $0,8^\circ < 5^\circ$ , то рассматриваемая спутниковая сеть связи функционирует нормально.

**Лекция 9. Установка, монтаж, эксплуатация и модернизация серверов АСОИиУ и их основных компонент. Правила проведения регламентных работ по обслуживанию серверов. Методы увеличения производительности и отказоустойчивости серверов, оценка временных и надежностных характеристик серверов.**

### **9.1 Классификация и основные особенности серверов АСОИиУ**

Сервер – это аппаратно-программный компонент АСОИиУ, который выполняет запросы клиентов, предоставляя им доступ к разрешенным ресурсам. Серверы АСОИиУ можно классифицировать по следующим трем признакам: по конструктивному исполнению, функциональному и организационному назначению.

**По конструктивному исполнению различают:** сервер башня (tower server), сервер, монтируемый в стойку, (rack-mount server) и сервер лезвие (blade server – блейд сервер).

**Серверы типа башня** рассчитаны на небольшие компании или офисы, для использования без серверной комнаты, устанавливаются непосредственно в помещениях, где работают люди. Соответствуют потребностям фирм с небольшим штатом и не стремящихся к расширению и наращиванию вычислительных мощностей. Данная конструкция серверов позволяет экономить на размерах помещения, поскольку не требуется установки шкафов и стоек.

Как правило, серверы данного типа для обеспечения надежной и отказоустойчивой работы позволяют осуществлять замену компонент в горячем режиме и установить несколько блоков питания.

**Серверы стоечного типа** предназначены для офисов и фирм, которым требуется концентрация в одном помещении большой вычислительной мощности и/или постоянное ее наращивание.. Серверы включают компоненты, обеспечивающие надежную и отказоустойчивую работу.

Для установки серверов данного типа необходимо приобрести специальную серверную стойку, При наращивании вычислительных мощностей дополнительные серверы устанавливают в уже имеющуюся стойку, и при этом не требуется дополнительных площадей для размещения оборудования.. В стойки также устанавливается и дополнительное оборудование, например, источники бесперебойного питания и охлаждения.

Вертикальный размер серверных стоек и серверов стоечного типа измеряется в базовой единице измерения, называемой юнитой (Unit- U), в которой 1U равен 1,75 дюйма для стоек и 1,719 дюйм для серверов. (дюйм равен 25,4 мм).

Тогда вертикальный размер ниши стойки для установки сервера с одноюнитовым корпусом равен 44,45 мм., а ниши стойки для установки сервера с двухюнитовым корпусом будет в 2 раза больше, т. е. 88,9 мм. Размер ниши стойки для установки серверов с корпусами 3U, 4U и 5U кратен целому числу юнит. Соответственно вертикальный размер сервера с одноюнитовым корпусом равен 43,7 мм., а сервера с двухюнитовым корпусом будет в 2 раза больше, т. е. 87,4 мм. Для серверов с корпусами 3U, 4U, 5U их вертикальные размеры соответственно равны 131,1 мм , 174,8 мм и 218,5 мм.

При установке серверов в ниши серверной стойки имеют место вертикальные зазоры, которые позволяют без особых усилий и достаточно просто извлечь/установить сервер в отсек стойки без извлечения соседнего (сверху и/или снизу) сервера.

В соответствии со стандартом ассоциации электронной промышленности (Energy Information Administration - EIA) каркас серверной стойки должен иметь следующие размеры: ширина – 482,6 мм (19 дюймов) глубина 600 мм, 800 мм или 900 мм, высота – кратна целому числу юнит, т. е. величине 44,45 мм. (1,75 дюйма)

Вертикальный шаг размещения оборудования в стойке составляет один юнит (1U). Направляющие полозья стойки должны иметь ширину 450,85 мм (17,75 дюйма),

Для удобства корпус сервера устанавливают в стойку на салазках.. Корпуса серверов размером в 1U и 2U, как правило, ограничены количеством установленных в них процессоров до двух штук. Корпуса серверов размером 3U и более по режиму охлаждения рассчитаны на четыре и более процессоров. Вертикальный размер стойки позволяет разместить до 42 серверов с одноюнитовым корпусом, до 21 сервера с двухюнитовым корпусом, до 14 серверов с трехюнитовым корпусом и т. д. В одной стойке естественно можно размещать и сервера с разными вертикальными размерами корпуса.

При установке серверов в стойку и их обслуживании следует учитывать следующие особенности конструкции стойки:

- максимальная ширина сервера с кронштейном должна составлять не более 482,6 мм;
- максимальная ширина сервера, который можно положить на полку в стойке, должна составлять не более 450 мм;
- расстояние между осями отверстий крепления стоечного сервера винтами к профилям стойки равно 465.1 мм., а при креплении сервера используются гайки с резьбой М6.

**Блейд-серверы** отличаются компактностью и простотой увеличения вычислительной мощности серверного оборудования и особенно эффективны для организации кластера серверов.. Блейд-сервер представляет собой плату (лезвие), включающую процессор, память и шины, которая вставляется в специальное блейд-шасси. Так типовое блейд-шасси фирмы Hewlett-Packard (HP) размером 10U позволяет установить до 16 блейд-серверов. Шасси с набором блейд-серверов называют блейд-системой (blade system).

При этом для всех блейд-серверов, входящих в состав блейд-системы, используется общий набор внешних компонент, обеспечивающих вспомогательные функции: единый блок питания, общий объединенный сетевой интерфейс, общие накопители на жестких дисках и т.д..

Все эти компоненты могут быть смонтированы либо в корпусе блейд-системы,, либо на отдельных выделенных блейд-слотах Такая конструкция обеспечивает экономию пространства, энергопотребления и числа электронных компонентов для серверов этого типа.

Следует отметить следующие преимущества использования блейд-систем по сравнению с другими типами серверов::

- уменьшение занимаемого объемного пространства;
- уменьшение энергопотребления и выделяемого тепла;
- высокая и гибкая степень масштабируемости;
- повышение удобства управления системой;
- сокращение количества коммутационных проводов;
- сокращение стоимостных расходов на электропитание, охлаждение, обслуживание

Часто преимущества блейд-систем описывают с помощью правила «1234». Оно звучит так: по сравнению с обычными серверами при сравнимой производительности Blade-системы занимают в два раза меньше места, потребляют в три раза меньше энергии и обходятся в четыре раза дешевле.

К основным недостаткам использования блейд-систем следует отнести следующие: неэффективность их использовании при малом числе блейд-серверов (в этом случае выгоднее использовать обычные серверы, не переплачивая за шасси) , а также отсутствуют возможности внутренней расширяемости блейд-серверов.

Блейд-системы рекомендуется использовать в тех случаях, когда, по мере развития фирмы, требуется планомерное и постоянное увеличение вычислительной мощности сервера и необходима кластеризация их работы..

Следует иметь в виду, что масштабирование (добавление нового сервера) в блейд-системе выполняется значительно быстрее, чем процедура установки стоечного сервера, которая включает в себя монтаж сервера в стойку, прокладку кабелей, установку операционной системы, настройку подключений к ЛВС.

Для обеспечения эффективного развертывания, мониторинга и контроля за работой блейд-систем используют специальные программные средства.

**По функциональному назначению**, в зависимости от установленного программного обеспечения и вида выполняемой сервером работы, различают:

- файловый сервер, используется для хранения различной информации в файлах и папках, его работой управляет операционная система, например Windows Server 2008;
- сервер базы данных, хранит в своей памяти данные, организованные в базы данных. Управляет работой сервера программное обеспечение, именуемое Система Управления Базой данных (СУБД), например, СУБД Microsoft SQL Server, которое обеспечивает по запросу пользователей поиск/запись нужных данных в базе данных..
- сервер приложений, выполняет производительную обработку информации по запросам пользователей с помощью программ, находящихся на сервере или поступающих от пользователей вместе с запросами;
- сервер печати, обслуживает запросы пользователей, работающих в сети, на печать и обеспечивает им доступ к общим сетевым принтерам;
- почтовый сервер, обеспечивает прием/передачу персональных писем пользователей, а также их маршрутизацию;
- Web-сервер, предоставляет пользователям сети Интернет информацию в соответствии с их запросами;
- сервер удаленного доступа, обеспечивает связь пользователей с сетью Интернет или корпоративной сетью по каналам связи и т. д.

**По организационному назначению**, в зависимости от числа пользователей, обслуживаемых сервером, различают:

- сервер рабочей группы (до 25 пользователей);
- сервер масштаба отдела (от 25 до 100 пользователей);
- сервер масштаба предприятия (от 100 до 500 пользователей);
- сервер масштаба крупного предприятия (от 500 до 1000 пользователей);
- сервер масштаба корпорации. (более 1000 пользователей).

## 9.2 Производительность сервера АСОИиУ

Производительность (Performance -  $P$ ) сервера — это отношение общего числа инструкций программного кода  $I$ , выполненных сервером, ко времени их выполнения  $T$ :

$$P = \frac{I}{T}. \quad (9.1)$$

Для повышения производительности сервера необходимо:

- 1) использовать многопроцессорные системы или многоядерные процессоры;
- 2) увеличивать тактовую частоту и разрядность процессора;
- 3) использовать процессоры с усовершенствованными механизмами предсказания переходов команд;
- 4) увеличивать пропускную способность внешней шины процессора, т. е. ее тактовую частоту и разрядность;
- 5) устанавливать по возможности большее значение коэффициента внутреннего умножения тактовой частоты процессора из набора допустимых;
- 6) использовать кэши всех уровней с максимально возможным объемом их памяти

Технические характеристики КЭШ памяти

Таблица 9.1

№ п/п	Запоминающее устройство	Объем памяти	Время доступа, нс
1	Кэш 0-го уровня (для микроопераций)	6 Кбайт	1–2
2	Кэш 1-го уровня (для данных и инструкций)	(32+32) Кбайт	1–2
3	Кэш 2-го уровня	1–4 Мбайт	4–10
4	Кэш 3-го уровня	6–8 Мбайт	12–22
5	Оперативная память	1–4 Гбайт	35–50

7) повышать производительность оперативной памяти (ОП) благодаря использованию многоходовой памяти, синхронизации ее работы с процессором, пакетно-конвейерного режима работы, увеличения ее тактовой частоты и разрядности, настройки таймингов памяти;

8) увеличивать пропускную способность ( $V_{On}$ ) каналов доступа к ОП за счет увеличения их тактовой частоты ( $F_K$ ), разрядности ( $L_K$ ), количества передач данных по каналу за один такт ( $K_{On}$ ) и количества каналов передачи данных. ( $K_K$ ), при этом

$$V_{On} = F_K \cdot L_K \cdot K_{On} \cdot K_K \quad (\text{бит/с}) \quad (9.1)$$

Повышения производительности можно достичь при увеличении тактовой частоты ОП и использовании пакетно-конвейерного режима ее работы.

Следует иметь в виду, что настройка таймингов для ОП, работающей на частотах 800, 1066 или 1 333 МГц, также обеспечивает прирост производительности, правда небольшой, соответственно на 6%, 2,5% и 2 %;

9) организация рациональной структуры дисковой подсистемы сервера

### 9.3 Производительность дисковой подсистемы сервера АСОИиУ

Уменьшать время реакции механизма дисковой подсистемы  $T_p$  на запрос данных можно благодаря использованию быстрых дисков и быстрых дисковых интерфейсов:

$$T_p = (1 - \alpha) T_{p1} + \alpha T_{p2}, \quad (9.2)$$

где  $\alpha$  — вероятность нахождения требуемых данных в кэш-памяти диска;  $T_{p1}, T_{p2}$  — среднее время реакции дисковой подсистемы на запрос требуемых данных при нахождении их соответственно на поверхности диска или в кэш-памяти диска,

$$T_{p1} = T_{\text{д}} + T_{\text{с}} + T_{\text{и}}, \quad (9.3)$$

$$T_{p2} = T_{\text{и}} \quad (9.4)$$

( $T_{\text{д}}$  — среднее время доступа к данным на диске;  $T_{\text{с}}$  — среднее время считывания данных с поверхности диска и передачи их в контроллер диска;  $T_{\text{и}}$  — среднее время передачи данных по дисковому интерфейсу).

Среднее время доступа к данным на диске  $T_{\text{д}}$  — это сумма среднего времени позиционирования магнитных головок, т.е. поиска цилиндра  $T_{\text{ц}}$ , среднего времени выбора требуемой магнитной головки  $T_{\text{г}}$  и среднего времени задержки доступа к началу нужного сектора на дорожке  $T_{\text{з}}$ , которое равно половине времени оборота диска:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{ц}} + T_{\text{г}} + T_{\text{з}}. \quad (9.5)$$

Типовые значения среднего времени задержки доступа к началу нужного сектора в зависимости от скорости вращения шпинделя диска приведены в табл. 9.2

Таблица 9.2

Зависимость среднего времени задержки доступа к сектору диска от скорости вращения диска

Скорость вращения шпинделя диска, об /мин	Среднее время задержки доступа, мс
3 600	8,333
4 500	6,666
5 400	5,555
7 200	4,166
10 000	3,000
15 000	2,000

Значения средних времен  $T_{\text{ц}}, T_{\text{г}}, T_{\text{з}}$  являются техническими характеристиками жесткого диска и задаются в его паспортных данных.

Среднее время считывания данных (информации) с поверхности диска вычисляют в миллисекундах по формуле

$$T_{\text{с}} = \frac{L_{\text{и}} \cdot 60 \cdot 10^3}{nLV}, \quad (9.6)$$

а скорость считывания данных (информации) в мегабайтах на секунду — по формуле

$$v_{\text{с}} = \frac{nLV}{60 \cdot 10^6}, \quad (9.7)$$

где  $L_{\text{и}}$  — размер передаваемой по дисковому интерфейсу информации, Мбайт;  $n$  — число секторов на дорожке диска;  $L$  — емкость сектора (байт), которая обычно равна или кратна 512 байт;  $V$  — скорость вращения шпинделя диска (количество оборотов в минуту) об/мин; .

Среднее время передачи данных по дисковому интерфейсу вычисляют по формуле



$$T_{\text{И}} = \frac{L_{\text{И}} \cdot 10^3}{V_{\text{И}}}, \quad (9.8)$$

где  $V_{\text{И}}$  — скорость передачи данных по дисковому интерфейсу, Мбайт/с.

**Пример 9.1.** Определите среднее время реакции дисковой подсистемы сервера на запрос требуемых данных, если ее параметры имеют следующие значения:

$T_{\text{Ц}} = 3,734$  мс;  $T_{\text{Г}} = 0,1$  мс;  $T_{\text{З}} = 4,166$  мс;  $v = 7\,200$  мин<sup>-1</sup>;  $n = 688$  секторов;  
 $L = 512$  байт;  $V_{\text{И}} = 100$  Мбайт/с.

Параметры запроса имеют следующие значения:  $\alpha = 0,5$ ;  $L_{\text{И}} = 352\,256$  байт.

*Решение.* Используя выражения (5.2) – (5.8), получим:

- 1)  $T_{\text{Д}} = 3,734 + 0,1 + 4,166 = 8$  мс;
- 2)  $T_{\text{С}} = \frac{352\,256 \cdot 60 \cdot 10^3}{688 \cdot 512 \cdot 7\,200} = 8,333$  мс;
- 3)  $v_{\text{С}} = \frac{688 \cdot 512 \cdot 7\,200}{60 \cdot 10^6} = 42,3$  Мбайт/с;
- 4)  $T_{\text{И}} = \frac{0,352256 \cdot 10^3}{100} = 3,522$  мс;
- 5)  $T_{\text{р1}} = 8 + 8,333 + 3,522 = 19,855$  мс;
- 6)  $T_{\text{р2}} = 3,522$ ;
- 7)  $T_{\text{р}} = 0,5T_{\text{р1}} + 0,5T_{\text{р2}} = 11,688$  мс.

#### 9.4 Основные рекомендации по эксплуатации сервера АСОИиУ

При выполнении работ, связанных с эксплуатацией сервера, следует внимательно изучить инструкцию «Руководство по эксплуатации сервера», поставляемую вместе с сервером, и предназначенную для лиц, отвечающих за установку и техническое обслуживание серверов, с целью выполнения условий, необходимых для обеспечения надежной и бесперебойной работы серверов, входящих в состав АСОИиУ.

Как правило, этот документ содержит следующие типовые рекомендации по эксплуатации сервера:

1. Начальную транспортировку сервера следует осуществлять только в заводской упаковке и сохранять ее для возможной последующей транспортировки. Транспортировка, складирование и хранение серверов должны производиться в соответствии с требованиями знаков, нанесенных на упаковку изделия.

- 
- 2. Перед распаковкой и включением сервера необходимо его выдержать при комнатной температуре не менее одного часа.
- 
- 3. Прежде чем включить шнур блока питания сервера в розетку, следует убедиться в том, что напряжение, указанное на этикетке сервера, соответствует напряжению местной электросети.
- При подключении сервера к сети электропитания следует строго соблюдать следующие правила:
- - к сети электропитания, предназначенной для сервера, не допустимо подключать такое оборудование, как, например, кондиционеры и отопительные приборы;

- - для защиты сервера от импульсных помех электросети следует использовать сетевые фильтры или источники бесперебойного питания (ИБП) которые поставляются отдельно.
- 
- 4. При включенном электропитании сервера нельзя снимать кожух сервера и касаться внутренних частей сервера, во избежание поражения электрическим током.

5. Сервер типа башня следует размещать в помещении на ровной поверхности таким образом, чтобы обеспечить достаточно свободного места вокруг сервера для его обслуживания и надлежащей вентиляции. При наличии в комплекте сервера подставки или специальных ножек, необходимо закрепить их винтами на нижней поверхности сервера. Только после того, как подставка или ножки закреплены на корпусе сервера, сервер следует установить в вертикальное рабочее положение.

6. Сервер стоечного типа следует устанавливать в стойку на специальных рельсах (ползьях), которые позволяют легко выдвигать сервер из стойки для обслуживания и задвигать обратно в стойку. Рельсы включают направляющие, которые жестко крепятся к стойке, и ползья, которые крепятся к корпусу сервера. Сервер с ползьями следует установить в направляющие и задвинуть полностью в корпус стойки. Инструкция по креплению ползьев к серверу обычно входит в комплект поставки сервера.

7. При установке серверов в стойку более тяжелые по весу сервера нужно размещать в нижней части стойки, а легкие в ее верхней части, при этом вертикальные размеры полок следует изменять с учетом размера серверов и кратно величине юнит,

8. Для физической защиты серверов, размещенных в стойке, следует закрывать дверцы стойки.

9. Климатические условия для сервера должны отвечать следующим требованиям:

- температура окружающей среды для рабочего режима сервера должна составлять от +10<sup>0</sup>С до +35<sup>0</sup>С, а влажность воздуха до 80 % при 25<sup>0</sup>С
- температура окружающей среды для хранения сервера в отапливаемом помещении должна составлять от +5<sup>0</sup>С до + 40<sup>0</sup>С, влажность воздуха не более 80%.
- транспортировка сервера может осуществляться при температуре от – 50<sup>0</sup>С до + 50<sup>0</sup>С и влажности до 90% при 30<sup>0</sup>С.

10. Следует избегать лишних включений/выключений сервера, так как это ведет к износу механических деталей, входящих в состав жестких дисков сервера, и выходу их из строя.

11. Необходимо обеспечить стабильное электропитание сервера, особенно напряжения 12В, от которого питаются двигатель и привод магнитных головок жесткого диска сервера.

12. Не допускается перегрев жесткого диска. сервера, температура корпуса диска не должна превышать 60 °С. Нагрев поверхности диска более 45 °С крайне нежелателен, поскольку в силу аэродинамических эффектов, магнитные головки всегда нагреваются сильнее, чем поверхность диска, на 5...15 °С. Перегрев резко сокращает время исправной работы жесткого диска.

13. В нормальных условиях жесткий диск сервера должен работать при относительной влажности окружающего воздуха около 40 %. С ростом влажности воздуха следует

использовать дополнительные вентиляторы, чтобы уменьшать температуру нагрева корпуса диска. Сервер с полным набором вентиляторов, не должен создавать шум более 55 дБ

14 Форматирование жестких дисков сервера следует выполнять только в случае необходимости.

15. Дефрагментацию данных на жестких дисках сервера выполнять в том случае, если диск стал работать медленнее вследствие разброса данных, находящихся на нем, и на диске осталось менее 25% свободного пространства. При дефрагментации данных магнитная головка жесткого диска перемещается по поверхности диска, в результате чего данные упорядочиваются и уменьшается время доступа к ним, т.е. увеличивается производительность диска;

16. Микроклиматические параметры и воздушная среда помещения, в котором работают серверы, должна соответствовать требованиям, предъявляемым ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования».

### **9.6 Отказоустойчивые серверы**

Для увеличения отказоустойчивости сервера необходимо:

- 1) использовать многопроцессорные и/или многоядерные системы и многомодульную оперативную память (ОП) с коррекцией ошибок (Error Correction Code - ECC)
- 2) использовать ОП типа DDR4 или DDR3, при этом DDR4 с улучшенным механизмом коррекции ошибок.(Improved error correction code – IECC) , предназначенным для повышения надёжности обработки данных в серверах;
- 3) использовать отказоустойчивые дисковые массивы, например уровня RAID-(1+0), RAID-1, RAID-5 и т.д.;
- 4) использовать для дисков съемную кэш-плату большого размера со встроенной батареей с целью уменьшения числа обращений к диску;
- 5) использовать двухвходовые дисковые контроллеры;
- 6) устанавливать резервные вентиляторы;
- 7) устанавливать резервный блок питания сервера;
- 8) предусматривать резервное электропитание процессоров сервера;
- 9) использовать источники бесперебойного электропитания (ИБП);
- 10) использовать технологию замены узлов во время работы (Hot Plug);
- 11) дублировать сетевые адаптеры и шины PCI Express;
- 12) дублировать BIOS и использовать сервера с заводским BIOS, расположенным в постоянной памяти;
- 13) использовать режим самодиагностики дисков — технологию SMART (Self Monitory Analysis And Reporty Technology).

SMART — это технология анализа надежности работы жестких дисков и информирования пользователя для предотвращения потери данных, которая содержит две группы параметров.

Первая группа параметров характеризует процесс естественного старения жесткого диска и содержит:

- число циклов включения-выключения (старт-стоп);
- число оборотов двигателя за время работы;
- число перемещений головок.

Вторая группа параметров информирует пользователя о текущем состоянии компонентов жесткого диска. К этим параметрам относятся:

- высота головки над поверхностью диска;
- скорость обмена данными между диском и кэш-памятью на диске;
- число плохих секторов, переназначенных на хорошие;
- число ошибок при записи на диск;
- число ошибок при передаче данных по интерфейсу;
- скорость поиска данных на диске.

Каждый параметр (атрибут) жесткого диска обычно изменяется в диапазоне значений 0...100. Значение 100 свидетельствует о хорошем состоянии данного параметра и отсутствии в нем изменений.

По мере уменьшения значения параметра имеет место старение соответствующего компонента жесткого диска.

Для каждого параметра производитель определяет минимально возможное (допустимое) значение, при котором гарантируется безотказная работа жесткого диска. Если значение параметра ниже допустимого, возможен сбой или полный отказ в работе жесткого диска.

Все изменения параметров фиксируются в журнале SMART, в котором указываются значения всех параметров: начальное, допустимое и текущее.

С точки зрения отказоустойчивости сервера, их различают по показателю – коэффициент готовности ( $K_2$ ), и выделяют следующие группы серверов:

- сервер обычной готовности  $K_2 = 0,99$  (3,5 суток простоя в год);
- сервер отказоустойчивый  $K_2 = 0,999$  (0,35 суток простоя в год);

## 9.7 Оценка отказоустойчивости сервера АСОИиУ

С точки зрения оценки надежности работы сервера, следует считать, что все его основные функциональные элементы соединены последовательно, поскольку выход из строя любого из этих элементов приводит к отказу в работе сервера.

Каждый функциональный элемент сервера характеризуется следующими параметрами:

$\lambda_i$  (1/час) - интенсивность отказов  $i$ -го элемента сервера;

$\mu_i$  - интенсивность восстановления  $i$ -го элемента сервера;

$T_{H.Oi} = 1/\lambda_i$  - среднее время безотказной работы  $i$ -го элемента сервера или среднее время наработки на отказ;

$T_{Bi} = 1/\mu_i$  - среднее время восстановления работоспособности  $i$ -го элемента сервера.

Коэффициент готовности  $i$ -го элемента сервера определяют из следующего выражения:

$$K_{2i} = \frac{T_{H.Oi}}{T_{H.Oi} + T_{Bi}} = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} \quad (9.9)$$

Оценка надежности характеристик сервера осуществляется в два этапа:

- на первом этапе определяют надежность характеристики тех элементов сервера, которые резервируются, получают характеристиками обобщенных элементов, которые рассчитывают на основании следующих выражений:

- коэффициент готовности  $i$ -го обобщенного элемента сервера

$$Kz_i = Kz_{i1} + Kz_{i2} - Kz_{i1} \cdot Kz_{i2} \quad (9.10)$$

- интенсивность отказов  $i$ -го обобщенного элемента сервера

$$\lambda_i = \frac{\lambda_{i1} \cdot Kz_{i1} \cdot (1 - Kz_{i2}) + \lambda_{i2} \cdot Kz_{i2} \cdot (1 - Kz_{i1})}{Kz_{i1} + Kz_{i2} - Kz_{i1} \cdot Kz_{i2}} \quad (9.11)$$

- интенсивность восстановления  $i$ -го обобщенного элемента сервера

$$\mu_i = \frac{\lambda \cdot Kz_i}{1 - Kz_i} \quad (9.12)$$

Где  $Kz_{i1}$  - коэффициент готовности  $i$ -го основного элемента сервера при наличии резервного элемента;

$Kz_{i2}$  - коэффициент готовности  $i$ -го резервного элемента сервера;

- на втором этапе определяют надежностные характеристики сервера; считают, что сервер состоит только из  $n$  последовательно соединенных простых и/или обобщенных элементов.

Для расчета показателей надежности работы сервера используют следующие выражения:

- коэффициент готовности сервера

$$Kz = \prod_{i=1}^n Kz_i; \quad (9.13)$$

- интенсивность отказов сервера

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad (9.14)$$

- интенсивность восстановления сервера

$$\mu = \frac{\lambda \cdot Kz}{1 - Kz} \quad (9.15)$$

**Пример 9.2** Определите коэффициент готовности сервера, если коэффициенты готовности его подсистем соответственно равны:

- центральная подсистема (включает процессоры, кэш памяти, ОП)  $Kz_1 = 0,995$ ;

- дисковая подсистема (включает контроллеры дисков, дисковые интерфейсы, дисковую память)  $Kz_2 = 0,992$ ;

- коммуникационная подсистема (включает сетевые адаптеры с разъемами Rj-45, порты Wi-Fi)  $Kz_3 = 0,994$ ;

- подсистема ввода-вывода (включает USB разъемы, приводы DVD)  $Kz_4 = 0,993$ ;

- подсистема электропитания (включает два идентичных постоянно включенных блока электропитания: основной и резервный), при этом  $Kz_{51} = Kz_{52} = 0,988$ .

**Решение** Используя выражение (5.14) определяем коэффициент готовности обобщенной подсистемы электропитания:

$$Kz_5 = Kz_{51} + Kz_{52} - Kz_{51} \cdot Kz_{52} = 0,999856$$

Используя выражение (5.17) определяем коэффициент готовности сервера:

$$Kz = \prod_{i=1}^5 Kz_i = 0,975091$$

## **Лекция 10. Организация и эксплуатация дисковых подсистем серверов, построенных на основе отказоустойчивых дисковых массивов уровней RAID.**

### **10.1 Основные уровни отказоустойчивых дисковых массивов серверов**

Для обеспечения отказоустойчивой работы серверов и надежного хранения информации обычно используют отказоустойчивые дисковые массивы с резервированием и/или дублированием дисков, которые называют RAID массивы.

RAID стали расшифровывать как избыточный (резервный) массив независимых дисков «Redundant Array of Independent Disks», потому что для дисковых массивов стали использовать дорогое оборудование, чтобы увеличить не только отказоустойчивость дисковой подсистемы за счет ее избыточности, но и производительность за счет параллельной обработки запросов в «быстрых» дисках.

Современные дисковые массивы RAID дают возможность осуществлять операции записи и чтения фактически одновременно на нескольких дисках.

Основу технологии дисковых массивов RAID составляет избыточность информации, позволяющая в случае сбоя восстановить утраченные данные

Основным компонентом массива RAID является контроллер, который выполняет функцию размещения данных по массиву и позволяет представить весь массив как одно логическое устройство.

Различают следующие основные уровни массивов RAID, которые часто используют в практической работе.

- RAID 0 — дисковый массив повышенной производительности с чередованием, без обеспечения отказоустойчивости;
- RAID 1 — зеркальный дисковый массив;
- RAID 2 — дисковый массив, использующий код Хемминга; (практически не используется)
- RAID 3 и RAID 4 — дисковые массивы с чередованием и выделенным диском чётности;
- RAID 5 — дисковый массив с чередованием и невыделенным диском чётности;
- RAID 6 — дисковый массив с чередованием, с двумя невыделенными дисками, использующий две контрольные суммы, вычисляемые двумя независимыми способами;
- RAID (1+0) — массив RAID 0, построенный из массивов RAID 1;
- RAID (0+1) — массив RAID 1, построенный из массивов RAID 0;
- RAID 51 — массив RAID 1, построенный из массивов RAID 5;
- RAID 30 — массив RAID 0, построенный из массивов RAID 3;
- RAID 50 — массив RAID 0, построенный из массивов RAID 5;
- RAID 60 — массив RAID 0, построенный из массивов RAID 6.

## **10.2 Дисковые массивы уровня RAID-0**

**Дисковые массивы уровня RAID-0.** На самом деле они не являются отказоустойчивыми, так как в них отсутствуют избыточные диски, поэтому отказ любого диска приводит к отказу всего дискового массива.

Однако они имеют наибольшую производительность среди всех дисковых массивов. Контроллер делит поступающую информацию, например, файл на блоки, которые параллельно записывает на отдельные физические диски или считывает с них.

При этом производительность RAID-0, при чтении данных, не всегда увеличивается линейно с числом используемых дисков. Это связано с тем, что у дисков, входящих в дисковый массив, отсутствует синхронизация вращения шпинделей, поэтому вращение каждого диска и поиск информации на нем осуществляется индивидуально, следовательно считывание данных с дисков может идти с некоторым сдвигом.

Минимальное число дисков в этом массиве равно двум.

Дисковые массивы уровня RAID-0 предназначены для систем, требующих большой производительности от дисковых массивов сервера.

## **10.3 Дисковые массивы уровня RAID-1**

**Дисковые массивы уровня RAID-1** работают по системе дублирования основных дисков, каждый из которых может иметь несколько дублирующих дисков.

Обычно каждый основной диск имеет один дублирующий диск.

Каждый дублирующий диск хранит полную копию основного диска.

При записи данные разделяются на основной диск и на диск, который его дублирует. Если случается сбой или отказ одного из основных дисков, то контроллер заменяет его соответствующим дублирующим диском.

Поэтому отказ всего дискового массива происходит только в том случае, если отказывают основной и дублирующий его диски.

Время записи данных на диски в этих дисковых массивах несколько больше, чем для одного диска.

Минимально допустимое число дисков в дисковом массиве равно двум.

Основной недостаток таких дисковых массивов — высокая цена, так как для их реализации приходится удваивать объем необходимой дисковой памяти.

Дисковые массивы уровня RAID-1 предназначены для систем, требующих высокой надежности дисковых массивов сервера.

## **10.4 Дисковые массивы уровня RAID-3**

**Дисковые массивы уровня RAID-3** имеют основные диски и только один избыточный, т. е. выделенный дополнительный диск для хранения результатов контроля четности.

При записи данных в этот дисковый массив контроллер выполняет следующие функции:

- разбивает данные (файлы) на блоки (байты);
- формирует из последовательно следующих друг за другом байт группы байт, число которых соответствует числу основных дисков массива;
- параллельно записывает байты каждой группы на разные диски массива;

- для каждой группы записанных байт проводит вычисления на четность и результаты вычислений записывает в виде байта на дополнительный диск.

Дисковые массивы RAID-3 обладают высоким уровнем надежности хранения данных и высокой скоростью их чтения. Скорость записи у RAID-3 меньше, поскольку требуется время для проведения расчетов на четность байт, записываемых на диски.

Для работы массива RAID-3 необходимо минимум три диска: два для хранения данных и один для хранения информации о четности этих данных.

### **10.5 Дисковые массивы уровня RAID-4**

**Дисковые массивы уровня RAID-4** во многом схожи с массивами RAID-3, также имеют основные диски и только один избыточный, т. е. выделенный дополнительный диск для хранения контроля четности блоков данных, записываемых на основные диски. Контроллер также разбивает данные на блоки, записывает параллельно блоки на основные диски, осуществляет вычисление контроля четности блоков, результаты которого записывает на дополнительный диск.

Однако размер блока в массиве RAID-4 намного больше, чем в RAID-3, он кратен размеру сектора диска и может иметь величину до 128 Кбайт.

При отказе любого диска этого дискового массива его содержимое можно восстановить по информации, которая имеется на остальных исправных дисках.

Отказ дискового массива происходит только в том случае, если происходит отказ любых двух дисков, входящих в его состав.

Дисковые массивы RAID-4 обладают очень хорошей производительностью при работе с данными большого размера, когда параллельно работают все диски. Поэтому, как правило, RAID-4 используют в серверах при решении задач, связанных с обработкой больших массивов данных и небольшой интенсивностью их поступления.

Минимально допустимое число дисков в этом дисковом массиве равно трем.

### **10.6 . Дисковые массивы уровня RAID-5**

**Дисковые массивы уровня RAID-5** имеют основные диски и только один избыточный, но невыделенный дополнительный.

Вычисленный контроль четности блоков, распределяется по всем дискам массива, включая основные и дополнительный.

Здесь нет, в отличие от массивов уровня RAID-3 и RAID-4, четко выделенного диска с контролем четности.

Контроллер разбивает основные данные и данные контроля четности на блоки, которые записывает на разные диски. Это позволяет выполнять несколько операций записи и считывания одновременно.

Дисковые массивы уровня RAID-5 отличаются еще и тем, что их контроллер использует большие размеры блоков данных, записываемых на диск. Поэтому в этих дисковых массивах информация, относящаяся к одному запросу и подлежащая записи или считыванию, как правило, размещается в двух блоках данных: в одном блоке основные данные, а в другом — данные контроля четности.

На обработку каждого запроса задействовано, как правило, два диска.



При выполнении операций записи на диск контроллер может параллельно обрабатывать до  $N/2$  запросов, где  $N$  — число дисков в дисковом массиве (четное). Если  $N$ -нечетное, то число обрабатываемых запросов  $(N-1)/2$ .

Контроллер также одновременно может выполнять операции записи и считывания на разные диски.

При отказе любого диска этого дискового массива его содержимое можно восстановить по информации, которая имеется на остальных исправных дисках.

Отказ дискового массива происходит только в том случае, если происходит отказ любых двух дисков, входящих в его состав.

Минимально допустимое число дисков в этом дисковом массиве равно трем.

Дисковые массивы уровня RAID-5 в основном ориентированы для работы в многопользовательских системах с небольшими объемами данных, например, для систем обработки транзакций.

### **10.7 Дисковые массивы уровня RAID-6**

**Дисковые массивы уровня RAID-6** имеют два избыточных, но невыделенных дополнительных диска для ведения двойного контроля четности.

Для каждого блока данных имеем два блока контроля четности, которые вычисляются по разным алгоритмам.

Контроллер разбивает данные на блоки так же, как и в массивах уровня RAID-5. Блоки данных и блоки контроля четности контроллер распределяет по всем дискам массива и записывает их все параллельно на разные диски. Это позволяет контроллеру выполнять операции записи и считывания одновременно.

Следует иметь в виду, что этот дисковый массив имеет очень низкую производительность при записи данных на диск, так как для каждого блока необходимо провести расчет двух блоков контроля четности..

При отказе одного или двух дисков дискового массива его содержимое можно восстановить по информации, которая имеется на остальных исправных дисках.

Отказ дискового массива происходит только при отказе любых трех дисков, входящих в его состав.

Минимально допустимое число дисков в этом дисковом массиве равно четырем.

Дисковые массивы уровня RAID-6 предназначены для систем, которые содержат большие объемы информации и требуют высокой надежности от дисковых массивов сервера.

### **10.8 Дисковые массивы уровня RAID-(0+1)**

**Дисковые массивы уровня RAID-(0+1)** относят к классу комбинированных дисковых массивов, поскольку они объединяют и используют скоростные преимущества массива RAID-0 и надежность, присущую массиву RAID-1.

Дисковый массив RAID-(0+1) — это массив, состоящий из двух идентичных массивов RAID-0, которые объединены в массив RAID-1. Поэтому полезный объем массива RAID-(0+1) равен половине суммы объемов всех входящих в массив дисков.

Каждый диск имеет дублирующий диск, на котором находится та же информация, что и на нем.

В случае отказа одного из дисков массив уровня RAID-(0+1) сразу превращается в массив уровня RAID-0.

Отказ дискового массива уровня RAID-(0+1) происходит в том случае, если откажут хотя бы по одному диску, входящих в состав разных массивов уровня RAID-0.

Минимально допустимое число дисков в этом дисковом массиве равно четырем. Число дисков в массиве всегда четное.

Дисковые массивы уровня RAID-(0+1) обычно используют для систем, содержащих небольшие объемы очень важных данных, которые нужно обрабатывать с высокой производительностью.

### **10.9 Дисковые массивы уровня RAID-(1+0)**

**Дисковые массивы уровня RAID-(1+0)** объединяют и используют скоростные преимущества массивов уровня RAID-0 и надежность, присущую массивам уровня RAID-1.

Дисковый массив уровня RAID-(1+0) — это массив уровня RAID-0, сегментами которого являются массивы уровня RAID-1.

При его создании сначала диски попарно объединяют в массивы уровня RAID-1, а затем используют для них попеременную запись, как в массивах уровня RAID-0.

Дисковый массив уровня RAID-(1+0) способен работать при отказе до половины дисков массива, практически не теряя своей производительности.

Отказ дискового массива уровня RAID-(1+0) происходит только в случае одновременного отказа двух дисков, образующих зеркальную пару в составе любого массива уровня RAID-1.

Полезная емкость массива уровня RAID-(1+0) составляет 50 % суммарной емкости его дисков.

Минимально допустимое число дисков в этом дисковом массиве равно четырем. Число дисков в массиве всегда четное.

Дисковые массивы уровня RAID-(1+0) обычно используют для систем, содержащих небольшие объемы очень важных данных, которые нужно обрабатывать с высокой производительностью.

### **10.11 Дисковые массивы уровня RAID-15**

**Дисковые массивы уровня RAID-15 (Иногда их называют RAID-51).**

Массив объединяет надежность, присущую массивам уровней RAID-1 и RAID-5. При его создании сначала формируют два массива уровня RAID-5, которые затем объединяют в один массив уровня RAID-1.

Эти массивы имеют не только очень большую отказоустойчивость, но и большую избыточность дисков, а следовательно, и большую стоимость реализации.

Дисковые массивы уровня RAID-15 используют для систем, содержащих небольшие объемы сверхважных данных.

## 10.12 Сравнение дисковых массивов уровней RAID

Результаты сравнения наиболее часто используемых дисковых массивов показывают следующее:

По надежности (среднее время безотказной работы дискового массива):

$$H_1 > H_{(1+0)} > H_{(0+1)} \approx H_5 > H_0 \quad \text{лучший RAID -1}$$

По производительности:

$$P_0 > P_{(1+0)} \approx P_{(0+1)} > P_1 > P_5 \quad \text{лучший RAID -0}$$

По стоимости :

$$C_{(1+0)} \approx C_{(0+1)} > C_1 > C_5 \quad \text{лучший RAID -5}$$

Пояснения

- надежность дискового массива уровня RAID-(1+0) немного меньше, чем у RAID-1, но больше, чем у RAID-(0+1) или RAID-5, которые отказывают при отказе любых двух дисков массива;

- скорость работы дискового массива уровня RAID-(1+0) существенно меньше, чем у RAID-0, но намного больше, чем у RAID-1;

- в дисковом массиве уровня RAID-(1+0) информация распределяется строго по зеркалированным дискам, а в массиве уровня RAID-(0+1) имеет место зеркалирование распределенной информации. Поэтому дисковый массив уровня RAID-(1+0) имеет большую надежность, чем дисковый массив уровня RAID-(0+1).

Рекомендации по выбору уровня дискового массива RAID, в зависимости от предъявляемых к нему требований, даны в табл. 10.1

Таблица 10.1

Рекомендации по выбору уровня дискового массива RAID

Первый показатель выбора массива	Второй показатель выбора массива	Рекомендуемый уровень дискового массива RAID*
Производительность	Низкая стоимость Надежность	RAID-0 RAID-(1+0)
Низкая стоимость	Производительность Надежность	RAID-0 RAID-5 или RAID-4
Надежность	Производительность Низкая стоимость	RAID-(1+0) RAID-5 или RAID-4
* Если размер блока меньше размера передаваемой информации, следует выбирать массив уровня RAID-4, если наоборот — массив уровня RAID-5.		

Как правило, для любого дискового массива RAID известны следующие исходные параметры его функционирования:

$p$  — вероятность безотказной работы одного диска;

$q$  — вероятность отказа одного диска,  $q = 1 - p$ ;

$d$  — минимальное число дисков дискового массива RAID, отказ которых приводит к отказу работы дискового массива, для RAID-4 и RAID-5  $d = 2$ , для RAID-6  $d = 3$ ;

$n$  — число дисков в дисковом массиве без RAID;

$N$  — число дисков в составе дискового массива RAID.

Для оценки надежности  $P$  (т. е. вероятности безотказной работы дисковых массивов RAID), следует использовать следующие выражения:

для RAID-0  $P = p^n$ ;

для RAID-1  $P = (1 - (1 - p)^2)^n$ ;

для RAID-4, RAID-5 и RAID-6 формулу Бернулли, тогда

Для RAID-4, RAID-5 
$$P = \sum_{k=0}^1 C_N^k q^k p^{N-k};$$

Для RAID-4, RAID-5 
$$P = \sum_{k=0}^2 C_N^k q^k p^{N-k};$$

Для RAID-51 можно считать, что система откажет тогда, когда откажут одновременно два основных диска и два диска, дублирующие эти основные диски, при этом полагаем, что вероятность одновременного выхода из строя пяти и более дисков практически нулевая.  $P \approx (1 - (1 - p)^4)^A$ , (5.12)

где  $A = C_{n+1}^2 = \frac{(n+1)!}{(n-1)! \cdot 2!} = \frac{(n+1)n}{2}$

Сравнительный анализ дисковых массивов уровней RAID по вероятности безотказной работы приведен в табл. 10.2

Значения вероятности безотказной работы дисковых массивов уровней RAID Таблица 10.2

Значения «n», «p»	RAID-0	RAID-1	RAID-5	RAID-6	RAID-51
	N = n	N = 2n	N = (n + 1)	N = (n + 2)	N = 2(n + 1)
n=2 p=0,9	0,81000	0,98010	0,97200	0,99630	0,99970
n=3 p=0,9	0,72900	0,97030	0,94770	0,99144	0,99940
n=4 p=0,9	0,65610	0,96060	0,91854	0,98415	0,99900
n=5 p=0,9	0,59049	0,95100	0,88574	0,97431	0,99850
n=2 p=0,95	0,90250	0,99501	0,99275	0,99952	0,99998
n=3 p=0,95	0,85737	0,99252	0,98598	0,99884	0,99996
n=4 p=0,95	0,81451	0,99004	0,97741	0,99777	0,99994
n=5 p=0,95	0,77378	0,98756	0,96723	0,99624	0,99991

Считают, что вероятность безотказной работы дискового массива уровня RAID соответствует коэффициенту готовности этого дискового массива.

$$N_i = n + n_{doni}$$

Где  $N_i$  - количество дисков в составе RAID i-го уровня..

$n$  - количество основных дисков, которые используют для создания RAID.

$n_{\min}$  - минимальное количество основных дисков, которое может быть в RAID i-го уровня..

$$n \geq n_{\min i}$$

$n_{doni}$  - количество дополнительных дисков, которое следует добавить к основным для создания в RAID i-го уровня..

Таблица 10.3

Состав и особенности RAID систем.

Уровень RAID	$n_{\min}$	$n_{\text{доп}}$	$N_i$	Отказ RAID системы
RAID-0	2	0	n	Отказ любого диска RAID
RAID-1	1	n	2n	Отказ основного и дублирующего его дисков. RAID
RAID-3	2	1	n+1	Отказ любых двух дисков, входящих в RAID
RAID-4	2	1	n+1	Отказ любых двух дисков, входящих в RAID
RAID-5	2	1	n+1	Отказ любых двух дисков, входящих в RAID
RAID-6	2	2	n+2	Отказ любых трех дисков, входящих в RAID
RAID-(0+1)	2	n	2n	Отказ хотя бы по одному диску, входящих в состав разных массивов уровня RAID-0.
RAID-(1+0)	2	n	2n	Отказ двух дисков, образующих зеркальную пару в составе любого массива уровня RAID-1.
RAID-15	2	n+2	2(n+1)	Отказ двух пар основного и дублирующего его дисков.

## **Лекция 11. Организация электропитания АСОИиУ. Выбор, установка и эксплуатация систем и источников бесперебойного питания для технических средств АСОИиУ.**

### **11.1 Организация электропитания серверов**

Качество электроэнергии влияет на работоспособность и эффективность функционирования оборудования АСОИиУ, особенно серверов, и нормируется ГОСТ 13109–97 «Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения». Требования к надежности электроснабжения приведены и в нормативном документе. «Правила устройства электроустановок».

От бесперебойной и стабильной работы электропитания зависит корректная работа всех остальных компонент сервера.

Для обеспечения надежной и отказоустойчивой работы сервера, его блок питания должен соответствовать требованиям стандарта «Усовершенствованная передовая технология» версии 2.2 (Advanced Technology Extended – ATX 12V). Требования этого стандарта регламентируют целый ряд параметров блока питания, в частности, положение блока питания в корпусе сервера, виды защит блока питания, электрические характеристики блока питания и их допустимые отклонения, минимальный уровень коэффициента полезного действия (КПД) блока питания и т. д.

#### **Сервер должен иметь сертифицированный блок питания.**

Этот блок питания должен обеспечивать следующие виды защит сервера:

- защита от короткого замыкания (Short Circuit Protection – SCP);
- защита от большого тока ОСР (Over Current Protection – OCP);
- защита от пониженного напряжения (Under Voltage Protection – UVP);
- защита от повышенного напряжения (Over Voltage Protection – OVP);
- защита от перегрузок (Overload Protection – OLP);
- защита от перегрева (Overheating Protection – OTR).

Кроме этого блок питания сервера должен позволять работать на холостом ходу без нагрузки (No Load Operation – NLO)

Для сертифицированного блока питания сервера изменения значений его выходных напряжений должны находиться в следующих границах::

- для напряжения +3,3В (от + 3,14В до + 3,47В);
- для напряжения +5В (от + 4,75В до + 5,25В);
- для напряжения +12В (от + 11,64В до + 12,60В);
- для напряжения - 12В (от -11,40В до - 13,08В);

Сертифицированный блок питания сервера также должен соответствовать следующим требованиям:

- стабильно работать при нормальном напряжении 220В в диапазоне изменения входного напряжения от 180В до 264В.
- коэффициент полезного действия более 80%;
- среднее время безотказной работы более 100 тысяч часов;
- удерживать выходное напряжение, в пределах точно заданных значений, после отключения входного, не менее чем 20 мс
- шум, создаваемый вентиляторами охлаждения, не должен превышать 55 дБ.

Блок питания сервера обычно подключают к сети электропитания непосредственно, а через источник бесперебойного питания (ИБП). Это связано с тем, что если в сети электропитания возникнут неполадки, то их влияние не повредит работе сервера.

## 11.2 Основные виды неполадок во входной электрической сети АСОИиУ

Основными видами неполадок во входной электрической сети АСОИиУ являются:

- 1) исчезновение напряжения по причине аварий;
- 2) «провал» напряжения вследствие перегрузок;
- 3) кратковременное увеличение напряжения в результате уменьшения нагрузки;
- 4) кратковременное уменьшение напряжения в результате увеличения нагрузки;
- 5) появление высоковольтных наносекундных импульсов по причине грозových разрядов;
- 6) появление электромагнитных и радиочастотных помех, обусловленных расположением вблизи оборудования работающих электроприборов;
- 7) кратковременное отсутствие напряжения вследствие переходных процессов при коммутации;
- 8) искажение синусоидальности напряжения в результате перегрузки нейтрального провода;
- 9) нестабильность частоты питания, вызванная сбоями в системе управления.

Во время неполадок во входной электрической сети используют источники бесперебойного питания (ИБП) или системы БП (СБП), которые состоят из набора ИБП..

## 10.3 Основные характеристики источников бесперебойного питания

Основными характеристиками ИБП являются следующие:

*электрические:*

- напряжение питания и допуски на это напряжение;
- размер окна (разность между максимальным и минимальным значениями входного напряжения, при которых ИБП переключается на режим работы от батареи и нагрузка получает питание от этой батареи);
- форма выходного сигнала (синусоидальная или прямоугольная);
- частота напряжения питания (Гц) электрической сети;

*энергетические:*

- выходная мощность ИБП (ВА);
- коэффициент полезного действия ИБП (отношение выходной мощности к входной);

*временные:*

- время зарядки аккумуляторной батареи (АКБ) (ч);
- время переключения на режим работы ИБП от батареи (мс);
- время работы ИБП от батареи (мин);

*эксплуатационные:*

- климатические условия работы ИБП, т. е. высота над уровнем моря и влажность (обычно до 90 %);
- защита от внешних воздействий;
- габариты, масса ИБП без батареи и с батареями;
- энерговооруженность  $\mathcal{E}$ , которую определяют по формуле

$$\mathcal{E} = T_{\text{АКБ}} / M_{\text{ИБП}}, \quad (5.20)$$

где  $T_{\text{АКБ}}$  — время работы ИБП от аккумуляторной батареи, мин;

$M_{\text{ИБП}}$  — масса ИБП, кг.

#### 10.4 Основные типы ИБП и их сравнительный анализ

Наиболее широко используют ИБП следующих трех типов:

- ИБП типа On-Line, которые практически защищают нагрузку от всех ранее перечисленных девяти основных видов неполадок;
- ИБП типа Off-Line, которые приемлемо защищают нагрузку только от первых пяти видов неполадок и очень слабо от неполадок, связанных с появлением высоковольтных наносекундных импульсов, электромагнитных и радиочастотных помех.
- ИБП типа Line Interactive, которые приемлемо защищают нагрузку от неполадок первых семи видов.

Сравнительный анализ основных типов ИБП приведен в табл. 11.1

*Сравнительный анализ параметров основных типов ИБП* *Таблица 11.1*

Параметр ИБП	Тип ИБП		
	On-Line	Off-Line	Line Interactive*
Размер окна	120	63	120
Верхняя граница окна, В	295	260	295
Нижняя граница окна, В	175	197	175
Форма выходного напряжения	Синусоидальная	Прямоугольная	Близкая к синусоидальной
КПД	0,7–0,8	0,93–0,95	0,85–0,92
Время переключения на режим работы от АКБ, мс	практически нуль	15–30	2–5

\* ИБП типа Line Interactive — наилучший вариант для использования в АСОИиУ.

#### 10.5 Рекомендации по выбору ИБП

Источники бесперебойного питания выбирают с учетом требуемой мощности  $P_{ИБП}$  и требуемого времени работы от аккумуляторной батареи  $T_{АКБ}$  по следующим формулам:

$$P_{ИБП} = \frac{K_{зап} P_H}{K_M} = \frac{1,4 P_H}{0,7} = 2 P_H,$$

где  $P_{ИБП}$  — требуемая минимально необходимая мощность ИБП, ВА;  $P_H$  — суммарная мощность нагрузки, подключаемой к ИБП, Вт;  $K_{зап}$  — коэффициент запаса ИБП по мощности, обычно  $K_{зап} = 1,4$ ;  $K_M$  — коэффициент мощности ИБП, учитывающий перевод единиц мощности из ватт в вольт-амперы; для компьютерного оборудования  $K_M = 0,7$ ;

$$T_{АКБ} = \frac{EU\eta}{P_H},$$

где  $T_{АКБ}$  — время работы ИБП от аккумуляторной батареи, ч;  $E$  — емкость аккумуляторной батареи, А·ч;  $U$  — напряжение электропитания аккумуляторной батареи, В;  $\eta$  — коэффициент полезного действия ИБП.

**Пример 5.3** Определите время работы ИБП от аккумуляторной батареи, если он имеет следующие параметры:  $E = 17$  А·ч,  $U = 12$  В,  $\eta = 0,85$ , а мощность подключенной к нему нагрузки  $P_H = 600$  Вт.

*Решение.* После подстановки исходных данных в формулу (5.22) имеем

$$T_{АКБ} = \frac{EU\eta}{P_H} = \frac{17 \cdot 12 \cdot 0,85}{600} = 0,289 \text{ ч} = 17,35 \text{ мин.}$$



## 10.6 Рекомендации по выбору архитектуры СБП

Для обеспечения надежного функционирования АСОИиУ отдельные ИБП объединяют в систему бесперебойного питания (СБП).

Архитектуру СБП обычно описывают с помощью выражения

$$M(N + K),$$

где  $M$  — число групп ИБП, которые резервируются параллельно;

$N$  — число основных ИБП;

$K$  — число резервных ИБП.

Среднее время наработки на отказ у современных ИБП составляет около 50 тыс.ч, а у СБП — до 500 тыс.ч и более.

Четыре уровня защиты оборудования АСОИиУ с использованием системы бесперебойного питания приведены в табл. 11.2

Таблица 11.2

Значения параметров уровней системы защиты АСОИиУ

Параметр системы защиты	Уровни системы защиты АСОИиУ			
	1	2	3	4
Время простоя за год, ч	28,9	21,8	1,75	0,435
Коэффициент готовности, %	99,66	99,75	99,98	99,995
Архитектура СБП	$N$	$(N + 1)$	$(N + 2)$	$2(N + 1)$

Для обеспечения защиты оборудования АСОИиУ рекомендуется использовать на входе системы следующие варианты архитектуры СБП:

- для уровня защиты 1 — ИБП типа Off-Line или Line Interactive;
- для уровня защиты 2 — ИБП Line Interactive с одним резервным элементом;
- для уровня защиты 3 — ИБП Line Interactive с двумя резервными элементами;
- для уровня защиты 4 — две группы параллельно работающих ИБП типа Line Interactive, каждая с одним резервным элементом.

Группы ИБП получают питание от разных источников. Подключение и переключение шин питания осуществляется с помощью автоматического включения резерва (АВР).

## 10.7 Правила эксплуатации ИБП

Рекомендуется соблюдать следующие правила эксплуатации ИБП.

1. Прежде чем включать новый ИБП, нужно зарядить его батарею. Рекомендуемое время первой зарядки АКБ — около 24 ч.

2. К ИБП следует подключать только ту нагрузку, которая действительно требует бесперебойного питания. Не следует подключать принтеры.

3. Не следует перегружать ИБП, они не могут работать с перегрузкой.

4. Для качественного подавления помех сопротивление заземляющей шины ИБП должно составлять менее 4 Ом.

5. Следует корректно установить границы окна ИБП (или «границы чувствительности» ИБП), т.е. верхнее и нижнее значения напряжения питания из набора допустимых значений для перевода ИБП на режим работы от АКБ и обратно, чтобы минимизировать число циклов таких переключений с целью увеличения срока службы АКБ и ИБП.

6. Для ИБП мощностью более 2 кВА регулярно, один раз в квартал, следует проводить сервисное обслуживание.

7. Следует соблюдать рекомендуемый температурный режим окружающей среды 0...25 °С для нормальной работы ИБП. Нельзя переохлаждать ИБП и подвергать его воздействию влаги.

8. Регулировку и настройку рабочих параметров. ИБП следует осуществлять в автономном режиме.

### **Тестирование ИБП**

В процессе тестирования работы ИБП проверяют следующие параметры:

- допустимые значения диапазона напряжений на входе, не вызывающие перехода на автономный режим;
- напряжение на батарее;
- напряжение на выходе инвертора;
- ток заряда батареи;
- емкость аккумуляторов (рекомендуется проводить один раз в год).

По результатам тестирования работы ИБП делают вывод:

- ИБП работает нормально;
- требуется детальная диагностика ИБП;
- требуется замена батареи в ИБП.

### **10.8 Аккумуляторные батареи в составе ИБП и правила их эксплуатации**

В составе ИБП, как правило, широко используют свинцово-кислотные батареи, обеспечивающие длительное фактическое время работы ИБП от АКБ. Однако они имеют и целый ряд недостатков:

- большие размеры и большую массу (более 20 кг);
  - не очень большую энергетическую плотность батареи, т. е. отношение емкости батареи в (ампер-часах) к массе батареи в (кг);
  - не очень большую энергоемкость батареи, т. е. отношение времени работы ИБП от АКБ в минутах к массе батареи в килограммах;
  - небольшой средний срок службы (около 5 лет), даже при нормальных условиях работы (температура в помещении — не более 25 °С);
  - большую чувствительность срока службы батареи к условиям окружающей среды.
- Так, фактический срок работы АКБ при постоянной температуре в помещении 35°С уменьшается почти в 2 раза (до 2,5 лет).

Можно выделить следующие основные факторы, влияющие на срок службы аккумуляторных батарей.

1. Температура окружающей среды. Превышение температуры на каждые 8...10 °С по сравнению с 25 °С уменьшает срок службы АКБ в 2 раза.

2. Цикличность перезарядки батареи. Каждый разряд и перезаряд батареи немного снижает емкость. Количество полных циклов разряда-заряда АКБ в среднем составляет от 300 до 400 за время ее работы до замены на новую.

3. Режим обслуживания батареи. Периодические профилактические работы, порядок проведения которых указан в инструкции по эксплуатации, продлевают срок службы батарей.

4. Качество зарядного устройства. Правильная работа зарядного устройства ИБП — это залог длительной работы АКБ. Главное, чтобы АКБ не перезаряжалась больше нормы (например, для 12-вольтового аккумулятора напряжение заряда не должно превышать 13,8 В).

5. Уменьшение нагрузки на ИБП позволяет увеличить срок службы АКБ и время работы ИБП от АКБ. Например, уменьшение нагрузки в 2 раза по сравнению с допустимой позволяет увеличить время работы от АКБ ориентировочно в 3 раза.

### **Рекомендации и правила эксплуатации свинцово-кислотных АКБ:**

1. Разряженные АКБ следует хранить при температуре 10 °С или даже ниже. В процессе хранения АКБ следует заряжать каждые 6 месяцев, иначе их емкость будет уменьшаться.

2. Аккумуляторные батареи состоят из отдельных элементов напряжением по 2 В каждый. Для создания батареи более высокого напряжения отдельные элементы нужно соединять последовательно. Так, в 12-вольтовой батарее нужно последовательно соединить шесть элементов.

3. Подготовленные к установке в ИБП АКБ должны быть по возможности одного типа, одного производителя, из одной партии и одинаковой емкости.

4. Надежность группы из последовательно соединенных элементов определяется надежностью наименее надежного элемента. Поэтому, когда один из элементов выходит из строя, выходит из строя и батарея в целом.

5. Если батарея не используется, то она подвергается саморазряду, скорость которого составляет около 3 % в месяц при температуре окружающей среды около 20 °С.

6. Имеют место следующие способы зарядки аккумуляторной батареи:

- зарядка при постоянном напряжении;
- зарядка при постоянной силе тока;
- двухступенчатая зарядка при постоянном напряжении.

Наиболее предпочтительным способом является зарядка АКБ при постоянном напряжении, позволяющая ее зарядить до 90...95 % ее номинальной емкости.

Следует строго соблюдать правила эксплуатации АКБ, поскольку стоимость батареи составляет до 30 % первоначальной стоимости ИБП.

Далее рассмотрены примеры выбора ИБЛ

### Сравнительный анализ типов ИБП

**Пример 1** Сравнить три типа ИБП, исходные данные которых приведены в табо.П.1.1

Исходные данных типов ИБП

Таблица П.1.1

Параметр ИБП	Тип ИБП		
	On-Line	Off-Line	Line Interactive*
	B1	B2	B3
K1 Размер окна (В)	120	60	120
K2 Форма выходного напряжения	Синусоидальная	Прямоугольная	Близкая к синусоидальной
K3 КПД	0,76	0,95	0,9
K4 Время переключения на режим работы от АКБ, (мс)	0,25	14	2,5
K5 Стоимость (усл ед)	200	100	125

*Решение.* В табл. П1.2 приведены результаты попарного сравнения вариантов с целью отбора среди них парето-оптимальных вариантов.

Таблица П1.2

Сравнение вариантов ИБП на Парето-оптимальность

Вариант ИБП	Вариант ИБП		
	B1	B2	B3
B1	0	0	0
B2	0	0	0
B3	0	0	0
Результат сравнения	0	0	0
Парето-оптимальность варианта	Да	Да	Да

Анализ данных, приведенных в табл. П1.2 показывает, что все варианты сравниваемых ИБП являются Парето-оптимальными и требуется проведение их дальнейшего сравнения.

Используем критерий: Взвешенная сумма локальных критериев

$$Y_j = \sum_i^n \alpha_i k_{ij}$$

$\alpha_i$  - весовые коэффициенты локальных критериев вычисляем с помощью базового критерия

$k_{ij}$  - нормированные значения варианта j по критерию i вычисляем следующим образом:

Для K2, K3 и K4 используя вербально-числовые шкалы

Для K1 по формуле  $k_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i^+}$

Для K5 по формуле  $k_{ij} = \frac{X_i^-}{X_{ij}}$ ,

где  $X_i^+ = \max_j X_{ij}$  — значение  $i$ -го локального критерия, соответствующее максимальному значению среди сравниваемых вариантов решения;  
 $X_i^- = \min_j X_{ij}$  — значение  $i$ -го локального критерия, соответствующее минимальному значению среди сравниваемых вариантов решения.

Таблица П1.3

Вербально-числовая шкала для критерия К2 (форма выходного напряжения)

Синусоидальная	Очень близкая к синусоидальной	Близкая к синусоидальной	Не близкая к синусоидальной	Далекая от синусоидальной	Прямоугольная
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$	$k_{ij} = 0,5$

Таблица П1.4

Вербально-числовая шкала для критерия К3 (коэффициент полезного действия)

$\geq 0,95$	$0,9 \leq k < 0,95$	$0,8 \leq k < 0,9$	$0,7 \leq k < 0,8$	$0,6 \leq k < 0,7$	$0,5 \leq k < 0,6$
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,95$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$

Таблица П1.5

Вербально-числовая шкала для критерия К4 (время переключения на работу от батареи)

Менее 0,5 мс	От 0,5 мс до 5 мс	От 5 мс до 10 мс	От 10 мс до 15 мс	От 15 мс до 20 мс	Более 20 мс
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$

Таблица П1.5

Нормированные значения сравниваемых вариантов

Критерий	Весовой коэффициент	Тип ИБП		
		On-Line	Off-Line	Line Interactive*
		B1	B2	B3
K1	0,4	1	0,5	1
K2	0,2	1	0,5	0,8
K3	0,2	0,8	1	0,95
K4	0,1	1	0,7	0,9
K5	0,1	0,5	1	0,8
$Y_j = \sum_i^n \alpha_i k_{ij}$		0,91	0,67	0,92

$$Y_l = \max_i^n \alpha_i k_{ij}$$

Ранжирование вариантов по предпочтительности

$B3 \succ B1 \succ B2$

### Выбор марки ИБП типа Line Interactive

**Пример 2** Сравнить три марки (три варианта) ИБП типа Line Interactive. Исходные данные приведены в табл.П.2.1

Таблица П2.1

Исходные данные типов ИБП

Параметр ИБП	Тип ИБП Line Interactive		
	Марка 1	Марка 2	Марка 3*
	В1	В2	В3
К1 Размер окна (В)	125	100	100
К2 Документация	Очень хорошая	Отличная	Хорошая
К3 КПД	0,93	0,94	0,95
К4 Время переключения на режим работы от АКБ, (мс)	2,5	2,5	1,5
К5 Стоимость (усл ед)	100	125	125

*Решение.* В табл. П1.2 приведены результаты попарного сравнения вариантов с целью отбора среди них парето-оптимальных вариантов.

Таблица П2.2

Сравнение вариантов ИБП на Парето-оптимальность

Вариант ИБП	Вариант ИБП		
	В1	В2	В3
В1	0	0	0
В2	0	0	0
В3	0	0	0
Результат сравнения	0	0	0
Парето-оптимальность варианта	Да	Да	Да

Анализ данных, приведенных в табл. П.2.2 показывает, что все варианты сравниваемых ИБП являются Парето-оптимальными и требуется проведение их дальнейшего сравнения.

Используем критерий: Взвешенная сумма локальных критериев

$$Y_j = \sum_i^n \alpha_i k_{ij}$$

$\alpha_i$  - весовые коэффициенты локальных критериев вычисляем с помощью базового критерия  $k_{ij}$  - нормированные значения варианта j по критерию i вычисляем следующим образом:

Для К2, К3 и К4 используем вербально-числовые шкалы

$$\text{Для К1 по формуле } k_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i^+} \quad \text{Для К5 по формуле } k_{ij} = \frac{X_i^-}{X_{ij}}$$

где  $X_i^+ = \max_j X_{ij}$  — значение i-го локального критерия, соответствующее максимальному значению среди сравниваемых вариантов решения;

$X_i^- = \min_j X_{ij}$  — значение  $i$ -го локального критерия, соответствующее

минимальному значению среди сравниваемых вариантов решения.

Таблица П.2.3

Вербально-числовая шкала для критерия К2 (документация)

Отличная	Очень хорошая	Хорошая	Не совсем хорошая	Удовлетворительная	Плохая
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$	$k_{ij} = 0,5$

Таблица П.2.4

Вербально-числовая шкала для критерия К3 (коэффициент полезного действия)

$\geq 0,95$	$0,94 \leq k < 0,95$	$0,93 \leq k < 0,94$	$0,92 \leq k < 0,93$	$0,91 \leq k < 0,92$	$k < 0,91$
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$	$k_{ij} = 0,5$

Таблица П.2.5

Вербально-числовая шкала для критерия К4 (время переключения на работу от батареи)

$T \leq 1,5$ мс	$1,5 < T \leq 2$ мс	$2 < T \leq 2,5$ мс	$2,5 < T \leq 3$ мс	$3 < T \leq 3,5$ мс	Более 3,5 мс
$k_{ij} = 1$	$k_{ij} = 0,9$	$k_{ij} = 0,8$	$k_{ij} = 0,7$	$k_{ij} = 0,6$	$k_{ij} = 0,5$

Таблица П.2.5

Нормированные значения сравниваемых вариантов

Критерий	Весовой коэффициент	Тип ИБП		
		Марка 1	Марка 2	Марка 3*
		B1	B2	B3
K1	0,4	1	0,8	0,8
K2	0,1	0,9	1	0,8
K3	0,2	0,8	0,9	1
K4	0,1	0,8	0,8	1
K5	0,2	1	0,8	0,8
$Y_j = \sum_i^n \alpha_i k_{ij}$		0,93	0,84	0,86

$$Y_l = \max_i^n \alpha_i k_{ij}$$

Ранжирование вариантов по предпочтительности

$B1 \succ B3 \succ B2$