Сибирский федеральный университет

Электронный учебно-методический комплекс

Основы проектирования электронных средств

Учебная программа
Электронное учебное пособие
➢ **Конспект лекций**
Методические указания по лабораторным работам
Методические указания по курсовому проектированию
Контрольно-измерительные материалы
Методические указания по самостоятельной работе
Организационно-методические указания

Красноярск
ИПК СФУ
2008

УДК 621.396.6.001.63(042.3)
ББК 32.85
О-75

Рецензенты:
Красноярский краевой фонд науки;
Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

О-75 Основы проектирования электронных средств. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : конспект лекций / С. И. Трегубов, А. В. Сарафанов, А. А. Левицкий, В. Ю. Божко. – Электрон. дан. (114 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Основы проектирования электронных средств : УМКД № 9-2007 / рук. творч. коллектива С. И. Трегубов). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 256 Мб оперативной памяти ; 120 Мб свободного дискового пространства ; привод DVD ; Adobe Reader 7.0 (или аналогичный продукт для чтения файлов формата pdf).
ISBN 978-5-7638-….-.
Номер гос. регистрации в НТЦ «Информрегистр» 032070…

Настоящий ресурс является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Основы проектирования электронных средств», включающего учебную программу, электронные учебные пособия «Проектирование аппаратуры на печатных платах», «Техническое задание: формирование и анализ», «Формализация конструкторско-технологических решений», а также организационно-методические указания, методические указания по лабораторным работам, курсовому проектированию и самостоятельной работе студентов, контрольно-измерительные и электронные презентационные материалы.

Рассмотрены основные аспекты проектирования электронных средств: организация проектирования, компоновка и несущие конструкции, проектирование линий связи, обеспечение передачи информации и надежной работы, а также автоматизированное проектирование печатных плат и создание конструкторской документации. Приведены практические рекомендации по разработке различных устройств электронных средств.

Сопровождается банком контрольно-измерительных материалов, разбитых по темам и реализованных на базе унифицированной системы компьютерной проверки знаний тестированием UniTest 2.0.

Предназначен для студентов укрупненной группы направления подготовки специалистов 210000 – «Электронная техника, радиотехника и связь», направления подготовки бакалавров 210200.62 – «Проектирование и технология электронных средств» (спец. 210201.65, 210202.65).

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы проектирования электронных средств» подготовлен в рамках выполнения инновационной образовательной программы «Структурная перестройка научно-образовательного центра «Радиоэлектроника», реализуемой в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

УДК 621.396.6.001.63(042.3)
ББК 32.85

ISBN 978-5-7638-….-.

© Сибирский федеральный университет, 2008

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 28.05.2008
Объем 114 Мб
Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 10

1. ПРЕДМЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 11

Лекция 1 11
1.1. Понятие конструкции 11
1.2. Структура и связи 12
1.3. Конструктивная реализация ЭС 13
1.4. Составные части процесса конструирования 15
Лекция 2 20
1.5. Жизненный цикл ЭС 20
1.6. Конструкторское проектирование 23
1.7. История конструирования ЭС 28
Контрольные вопросы 31

2. ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 33

Лекция 3 33
2.1. Структура и взаимосвязь ограничений 33
2.2. Ограничения на метод проектирования 35
2.2.1. Сроки проектирования 35
2.2.2. Требования комплексной микроминиатюризации 36
2.2.3. Уровень знаний 37
2.2.4. Влияние вычислительной техники 37
2.2.5. Лабораторное оборудование 38
2.3. Требования к выполнению ограничений 38
Лекция 4 39
2.4. Исходные данные для проектирования 39
2.5. Техническое задание – этап проектирования ЭС 39
2.6. Основная структура ТЗ на проектирование 41
2.7. Классификация ЭС 42
Лекция 5 48
2.8. Условия эксплуатации 48
Лекция 6 57
2.9. Нормирование условий эксплуатации 57
Контрольные вопросы 64

3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 65

Лекция 7 65
3.1. Цели и формы стандартизации 67
3.2. Уровни стандартов 68
3.3. Системы стандартов 70
3.4. Основные положения ЕСКД 70
Контрольные вопросы 73

4. КОМПОНОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 74

Лекция 8 74
4.1. Задачи компоновки 74
4.2. Общая методология проектирования 74
4.3. Конструктивная иерархия 78
Лекция 9 80
4.4. Методы выполнения компоновочных работ 80
4.4.1. Аналитическая компоновка 80
4.4.2. Модельная компоновка 84
4.4.3. Графическая компоновка 84
4.5. Выполнение компоновочных работ в зависимости от стадии проектирования 84
4.6. Виды компоновки ЭС 85
Лекция 10 85
4.7. Вопросы эргономики при проектировании ЭС 85
4.8. Сенсорный вход оператора и его параметры 88
4.9. Особенности визуального восприятия информации 90
4.9.1. Пространственные характеристики зрительного анализатора 91
Лекция 11 93
4.9.2. Энергетические характеристики зрительного анализатора 93
4.9.3. Информационные характеристики зрительного анализатора 99
Лекция 12 101
4.10. Особенности слухового восприятия информации 101
4.11. Характеристика условий работы человека-оператора 102
4.12. Требования к уровню шума и вибрации в помещениях с электронной аппаратурой 104
4.13. Требования к микроклимату в помещениях с электронной аппаратурой 104
4.14. Требования к рабочему месту оператора 105

Лекция 13 ..... **109**
4.15. Техническая эстетика в проектировании ЭС **109**
4.16. Компоновка передних панелей ЭС **115**
4.17. Выбор цветофактурных решений **121**
Лекция 14 ..... **121**
4.18. Кодирование визуальной информации **121**
4.18.1. Алфавитно-цифровая маркировка 122
4.18.2. Символьная маркировка 126
Лекция 15 ..... **131**
4.18.3. Цветокодовая маркировка 131
4.19. Построение систем кодирования зрительной информации ... **134**
Контрольные вопросы **139**

5. НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭС **140**

Лекция 16 ..... **140**
5.1. Иерархия несущих конструкций **140**
5.2. Компоновка блоков **142**
5.3. Конструкции блоков **144**
5.4. Зарубежные несущие конструкции ЭС **147**
5.5. Характеристика защиты от внешних воздействий корпусом **150**
Лекция 17 ..... **155**
5.6. Основные конструкционные материалы **155**
5.6.1. Черные металлы и сплавы 155
5.6.2. Алюминий и его сплавы 158
5.6.3. Медь и ее сплавы 160
5.6.4. Пластмассы 161
Контрольные вопросы **165**

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО МОНТАЖА .. **166**

Лекция 18 ..... **166**
6.1. Виды электрического монтажа **166**
6.2. Объемный электрический монтаж **168**
6.3. Основные требования, предъявляемые к электрическому монтажу **169**
6.4. Классификация электрических линий связи **170**
6.5. Правила проектирования объемного монтажа **173**
Лекция 19 ..... **176**
6.6. Материалы для объемного монтажа **176**
6.7. Электромонтажные соединения **180**

Контрольные вопросы 182

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА.... 183

Лекция 20 183
7.1. Основные принципы проектирования печатного монтажа 183
7.2. Классификация печатных плат 185
7.3. Факторы, влияющие на качество проектирования печатных плат 191
7.4. Порядок проектирования печатных плат 194
Лекция 21 195
7.5. Анализ технического задания на плату 195
7.6. Выбор класса точности и шага координатной сетки 197
7.7. Выбор типа, габаритов и материала основания ПП 200
Лекция 22 208
7.8. Расчет элементов печатного рисунка 208
7.9. Расчет диаметров отверстий 209
7.10. Выбор формы и размеров контактных площадок 212
7.11. Расчет параметров проводников 215
7.12. Расчет расстояния между элементами печатного рисунка 217
Лекция 23 218
7.13. Размещение электрорадиоэлементов 218
7.14. Трассировка печатных элементов 225
Контрольные вопросы 231

8. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ 232

Лекция 24 232
8.1. Области применения и основные характеристики волоконно-оптических линий связи 232
8.2. Компоненты волоконно-оптических систем передачи 236
8.3. Оптические кабели 236
8.3.1. Классификация оптических кабелей 236
8.3.2. Основные конструктивные элементы оптических кабелей 238
8.3.3. Технические требования к оптическим кабелям 243
Лекция 25 246
8.4. Оптические волокна 246
8.4.1. Распространение сигнала в ОВ 246
8.4.2. Типы оптических волокон 249
Лекция 26 254

8.4.3. Характеристики оптических волокон 254
Лекция 27 266
8.4.4. Материалы для изготовления ОВ и ОК 266
Контрольные вопросы 274

9. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 275

Лекция 28 275
9.1. Определение понятия «надежность ЭС» 275
9.2. Показатели надежности ЭС 275
9.3. Пути обеспечения надежности ЭС 276
9.4. Методы резервирования 282
Контрольные вопросы 284

10. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 285

Лекция 29 285
10.1. Характеристика вида защищенности ЭС 285
10.2. Герметизация ЭС 287
Лекция 30 295
10.3. Классификация покрытий 295
10.3.1. Свойства металлических покрытий 300
10.3.2. Свойства окисных покрытий 304
10.3.3. Свойства диффузионных покрытий 305
Лекция 31 306
10.4. Лакокрасочные покрытия 306
10.4.1. Структура обозначения лакокрасочных покрытий 306
10.4.2. Характеристика лакокрасочных покрытий 309
Контрольные вопросы 312

11. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 313

Лекция 32 313
11.1. Характеристика видов теплопередачи 313
11.2. Конвективный теплообмен 314
Лекция 33 319
11.3. Лучистый теплообмен 319
11.4. Теплопроводность 322
Лекция 34 325

11.5. Системы охлаждения электронных средств 325
11.6. Радиаторы 327
11.7. Тепловые трубы 333
Контрольные вопросы 337

12. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 338

Лекция 35 338
12.1. Характеристика механических воздействий 338
12.2. Виды и источники эксплуатационных механических воздействий 338
12.3. Динамические характеристики, виды отказов и нарушения функционирования электронных средств при механических воздействиях 343
12.4. Классификация и эффективность существующих методов защиты от механических воздействий 345
Контрольные вопросы 351

13. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ПОМЕХ ... 352

Лекция 36 352
13.1. Понятие «электромагнитная совместимость» 352
13.2. Источники и приемники наводок 353
13.3. Защита от электрических полей 355
Лекция 37 357
13.4. Магнитостатическое экранирование 357
13.5. Экранирование электромагнитного поля излучения 358
13.6. Фильтрация 363
Контрольные вопросы 365

14. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 366

Лекция 38 366
14.1. Классификация опасных факторов 366
14.2. Область применения требований по безопасности 369
14.3. Классы аппаратуры по электробезопасности 370
14.4. Маркировка ЭС 370
14.4.1. Общие требования 371
14.4.2. Требования к маркировке соединителей и клемм 373

Лекция 39 ..... **381**
14.5. Обеспечение защиты от поражения электрическим током **381**
14.5.1. Требования к конструкции 381
14.5.2. Требования к изоляции 386
14.5.3. Обеспечение защитного заземления 389
Лекция 40 ..... **390**
14.5.4. Зазоры и пути утечек 390
14.5.5. Требования к клеммам и соединителям 394
14.5.6. Требования к компонентам 398
Лекция 41 ..... **401**
14.6. Обеспечение механической прочности, теплостойкости и огнестой-кости. **401**
14.6.1. Обеспечение механической прочности 401
14.6.2. Обеспечение требований по теплостойкости 406
14.6.3. Обеспечение требований по огнестойкости 406
Контрольные вопросы **410**

15. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ **411**

Лекция 42 ..... **411**
15.1. Особенности конструкций наземных стационарных ЭС **411**
15.2. Особенности конструкций наземных транспортируемых ЭС **412**
15.3. Особенности конструкций наземных переносных ЭС **416**
15.4. Особенности конструкций наземных носимых ЭС **417**
15.5. Особенности конструкций бортовых ЭС **419**
Контрольные вопросы **421**

Заключение **422**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК **425**

Приложение краткий ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ **429**

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы проектирования электронных средств» является одной из завершающих в системе подготовки бакалавров по направлению 210200.62 – «Проектирование и технология электронных средств».

Целями изучения дисциплины являются:

освоение основ проектирования жизнеспособных электронных средств (ЭС) и систем с применением современных методов построения конструкций ЭС;

освоение современных методик проектирования эффективных ЭС, обеспечивающих высокий уровень технических и эксплуатационных характеристик и технологичности ЭС.

Таблица В.1

Структура лекционного курса

Модуль, тема дисциплины	Время теоретического обучения, ч
Модуль 1. Организация проектирования ЭС	
Тема 1. Предмет проектирования ЭС	4
Тема 2. Ограничения при проектировании	8
Тема 3. Стандартизация в проектировании ЭС	2
Модуль 2. Компоновка и несущие конструкции ЭС	
Тема 4. Компоновка ЭС	16
Тема 5. Несущие конструкции ЭС	4
Модуль 3. Обеспечение передачи информации. Проектирование линий связи	
Тема 6. Проектирование объемного монтажа	4
Тема 7. Проектирование печатного монтажа	8
Тема 8. Волоконно-оптические линии передачи информации	8
Модуль 4. Обеспечение надежной работы ЭС	
Тема 9. Основные понятия надежности ЭС	2
Тема 10. Основы защиты ЭС от воздействий окружающей среды	6
Тема 11. Основы защиты ЭС от тепловых воздействий	6
Тема 12. Основы защиты ЭС от механических воздействий	2
Тема 13. Электромагнитная совместимость и защита ЭС от помех	4
Тема 14. Обеспечение безопасности ЭС	8
Тема 15. Особенности проектирования ЭС различного назначения. Перспективы развития конструкций ЭС	2
Итого	**84**

Материал, рассматриваемый в теоретическом курсе, структурирован по 15 темам, которые объединены в четыре модуля (табл. В.1).

Общее количество лекций – 42. В конце каждого модуля приведены контрольные вопросы для самоаттестации.

1. ПРЕДМЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лекция 1

П л а н л е к ц и и

1.1. Понятие конструкции.
1.2. Структура и связи.
1.3. Конструктивная реализация ЭС.
1.4. Составные части процесса конструирования.
Л и т е р а т у р а: [5, 15, 21, 40, 42].

1.1. Понятие конструкции

Как и при изобретении первого радиоаппарата А. С. Попова (1895), сегодня при изготовлении современных радиоэлектронных устройств решается вопрос создания той или иной конструкции. Если пригодность для эксплуатации первых радиоустройств определялась фактически только качеством передаваемого сигнала, то современные устройства должны не только хорошо работать, но и быть ремонтопригодными, легко настраиваемыми, иметь эстетичный внешний вид и т. д. Разумеется, что для каждого конкретного вида аппаратуры перечисленные требования имеют разную значимость (рис. 1.1).

Большинство этих требований, например, такие как простота обслуживания, ремонтопригодность, электрическая, магнитная и тепловая совместимость, работоспособность в специальных условиях эксплуатации обеспечиваются конструкцией изделия.

Так что же такое конструкция?

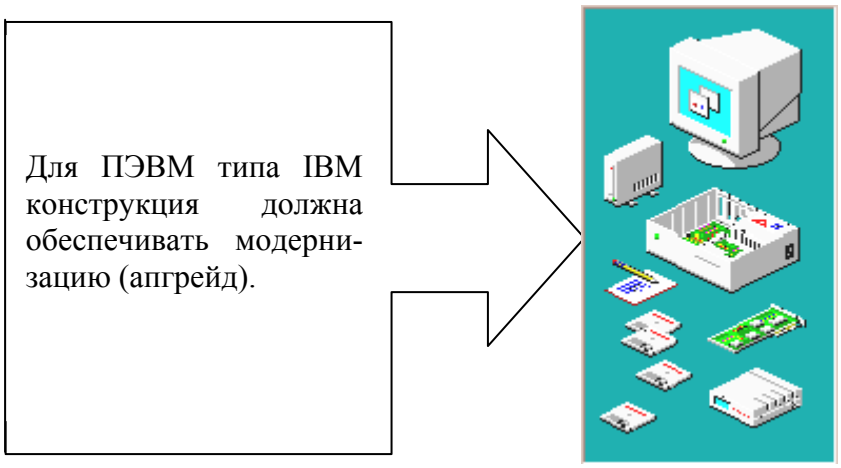


Рис. 1.1. Конструкция ПЭВМ типа IBM

Конструкция – это сложный объект, в котором могут быть выделены составные части, или элементы, и связь, или взаимодействие, между элементами и между элементами и внешней средой.

1.2. Структура и связи

Согласно приведенному определению понятия «конструкция» связи делятся на две группы: внутренние и внешние (рис. 1.2).

Внутренние связи – это связи между элементами внутри конструкции. К ним обычно относятся геометрические, магнитные, электрические, оптические и др.

Внешние связи показывают взаимоотношение между конструкцией или ее элементами и внешней средой. В эту группу связей входят связи с объектом, на котором устанавливается ЭС, связь с человеком-оператором и пр.

Дополнительно последнюю группу связей можно разделить на *непосредственные* и *опосредованные* – телеконтроль, телеуправление и пр.

Кроме того, связи могут делиться на необходимые, случайные, паразитные и др.

Связи в конструкциях определяют их сущность, их свойства, т. е. *меру различия или сходства конструкций*.

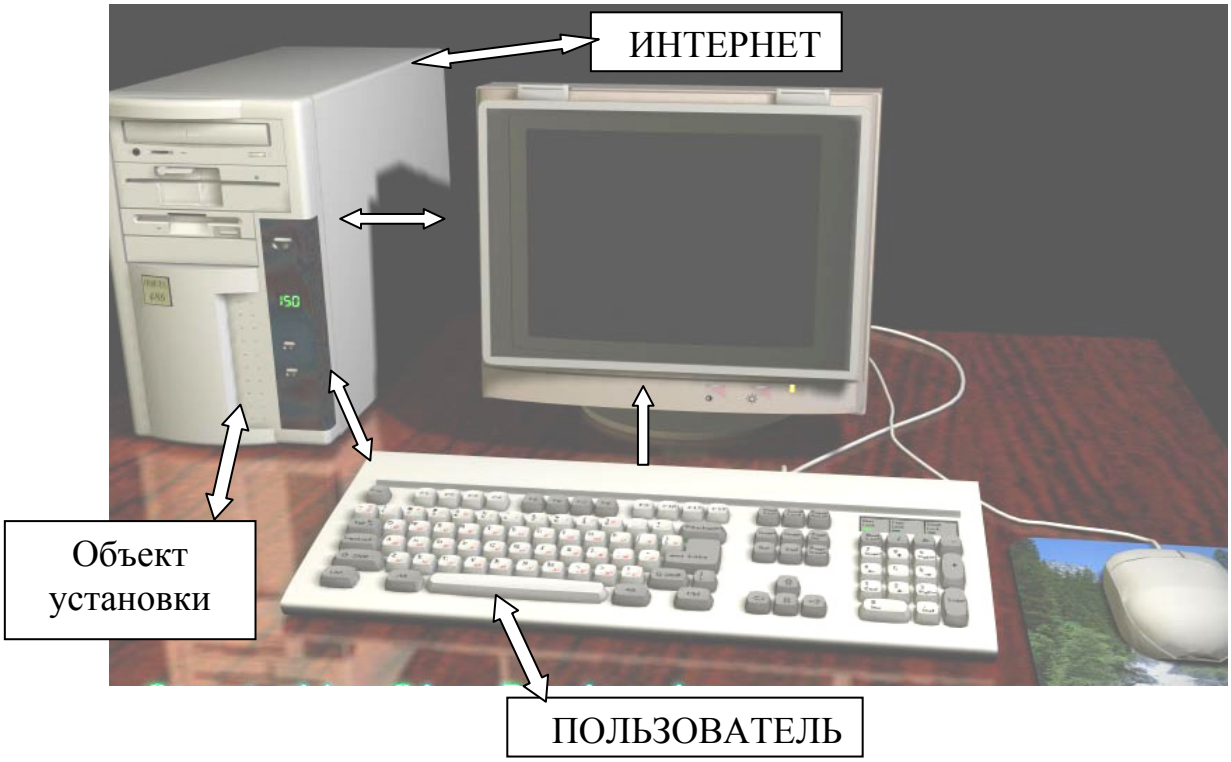


Рис. 1.2. Виды связей

Связи – это не абстрагированные понятия, а реальность, например: механические связи через крепежные соединения, магнитные связи между индуктивностями, гальванические связи по проводам, химические связи между средой и объектом и, как результат, возникновение коррозии. Таким образом,

конструкция есть материальное тело с многообразием элементов и связей, определяющих ее свойства.

Характерной особенностью конструкции ЭС является возможность преобразования электрических, электромагнитных, магнитных и, в ряде случаев, оптических связей.

Связи (группа связей) определяют свойства конструкции. Например, такое свойство, как ремонтопригодность, обеспечивается определенными механическими и геометрическими связями, иначе говоря, определенным расположением элементов конструкции и их закреплением.

Количественно свойства определяются параметрами, численно характеризующими свойства конструкции. Например, свойство «надежность изделия» задается такими параметрами, как наработка на отказ, среднее время безотказной работы, выраженными конкретными значениями.

Качественно свойства конструкции отображаются структурами.

Так, применяя различную структуру из трех типов элементов – транзисторы, резисторы, конденсаторы, можно получить различные по функциональному назначению устройства, даже не изменяя номиналов и типов элементов.

Итак, **конструкция электронного средства – это искусственно созданная человеком совокупность физических тел и веществ, с определенной структурой и параметрами, предназначенная для выполнения заданных функций, главным образом для преобразования электрических сигналов.**

Любую радиотехническую конструкцию, любое радиотехническое устройство можно представить как систему.

Под системой понимается:

- регулярное или упорядоченное устройство, состоящее из элементов, или частей, взаимосвязанных и действующих как единое целое;
- совокупность, или группа элементов, необходимых для выполнения некоторых операций.

Под термином «радиоэлектронная система» мы будем понимать такую совокупность взаимосвязанных узлов и блоков, которые могут принимать большое число состояний, обеспечивающих выполнение возложенных на систему функций по передаче, хранению и преобразованию информации.

В систему входят радиоэлектронные устройства различной сложности, например приборы, блоки, узлы, детали и т. д.

1.3. Конструктивная реализация ЭС

Дадим определения основных изделий ЭС.

Комплекс – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и предназначенные для выполнения одной цели (см. рис. 1.2).

Комплект – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и предназначенные для вспомогательных целей. Например, комплект ЗИП (запасное имущество приборов), комплект инструментов.

Сборочная единица – изделие, состоящее из двух или более частей с обязательным применением сборочных операций, позволяющих объединить составные элементы в единое целое (рис. 1.3).

Деталь – изделие, выполненное из однородного по марке и наименованию материала без применения сборочных операций. Допускается применение местной пайки, сварки, склейки (рис. 1.4).

В сборочных единицах по конструктивной иерархии можно выделить три уровня: приборы, блоки и узлы.

Прибор – сборочная единица, предназначенная для самостоятельного эксплуатационного применения (рис. 1.5).

Блок – конструктивно и функционально законченная сборочная единица, состоящая из субблоков, кассет и электрорадиоэлементов (ЭРЭ), не имеющая самостоятельного эксплуатационного назначения (рис. 1.6).

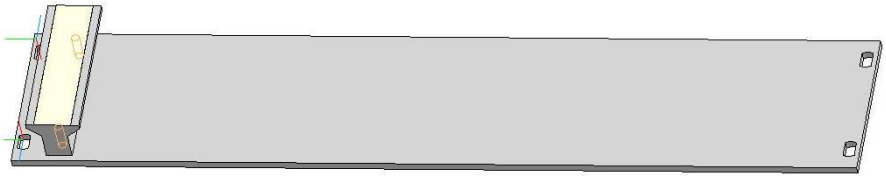


Рис. 1.3. Сборочная единица – передняя панель

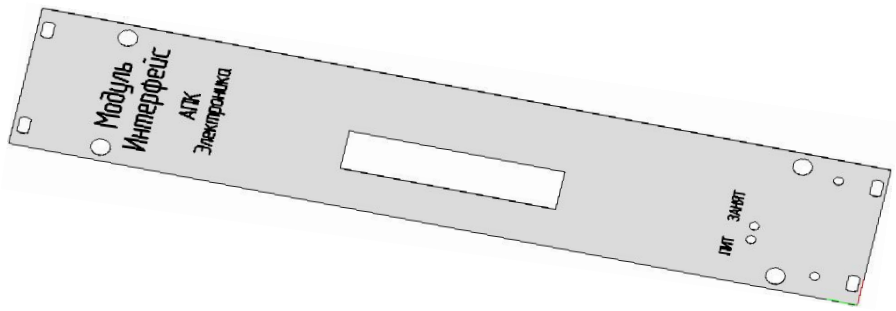


Рис. 1.4. Деталь – лицевая панель

Рис. 1.5. Прибор ваттметр

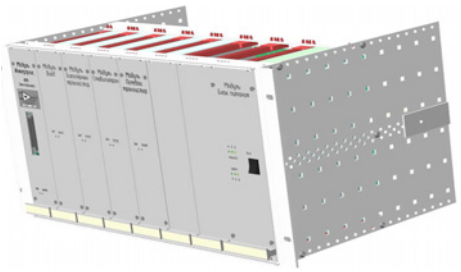
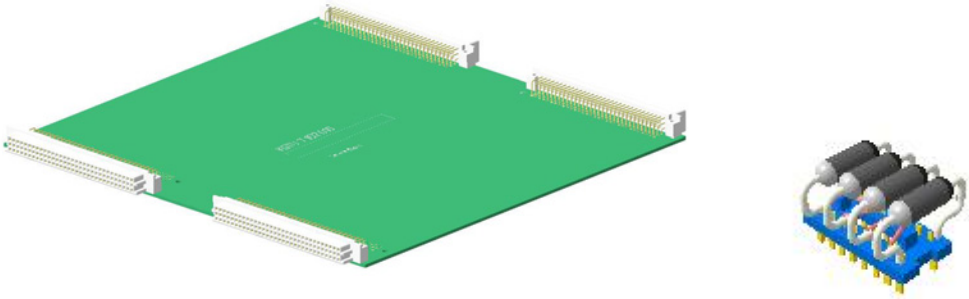


Рис. 1.6. Блок-крейт



а *б*

Рис. 1.7. Узел: *а* – печатный узел; *б* – измеряемый субмодуль

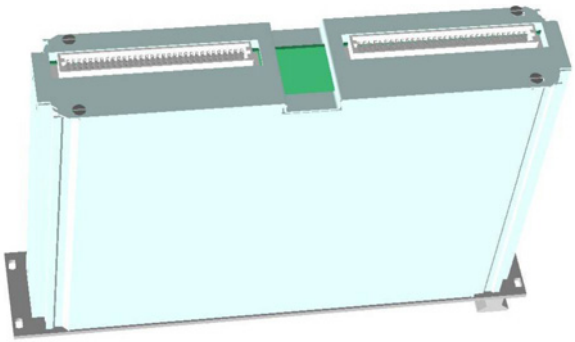


Рис. 1.8. Кассета

Узел – сборочная единица, состоящая из ограниченного числа деталей и имеющая конструктивную автономию (рис. 1.7, *а*). Конструктивную и функциональную автономию имеет *функциональный узел* – устройство, предназначенное для выполнения одной или ограниченного числа функций (рис. 1.7, *б*).

Блоки, субблоки, функциональные узлы конструктивно могут быть выполнены в виде *кассеты* – функционально и конструктивно законченной сборочной единицы, состоящей из ограниченного количества субблоков, расположенных в одной или нескольких плоскостях, заключенных в рамочную конструкцию, на задней стенке которой имеется разъем врубного типа (рис. 1.8).

В терминологии Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) все изделия классифицированы только как комплекс, комплект, сборочная единица и деталь.

1.4. Составные части процесса конструирования

Как отмечалось, качественно свойства конструкции отображаются структурами, которые определяются как устойчивая связь между элементами конструкции. Иными словами, каждая структура обусловливает определенную группу свойств, и в этом отношении можно наблюдать однозначность между структурой и свойствами. Эта зависимость делает возможной повто-

ряемость изделия, ибо одинаковые конструкции будут обладать одинаковыми свойствами (рис. 1.9).

Однако обратное – *однозначность свойств и структуры конструкции* в общем случае не имеет места, что предопределяет творческий характер конструирования. Конечно, имеется некая формализация полученных результатов, привлечение САПР, но это не снижает творческого участия разработчика, поскольку в итоге все решения принимает человек.

То обстоятельство, что разные структуры обладают одинаковыми свойствами, позволяет оптимизировать конструкции. Здесь следует сделать оговорку. Так как конструкция обладает множеством свойств М, то в общем случае для разных конструкций М1 = М2 = М3 ... и т. д.

Структуры и параметры конструкции находятся в функциональной связи друг с другом, и, следовательно, свойства конструкции ЭС отображаются параметрами. Однако знание только структур и параметров не позволяет решить вопрос об эксплуатационных возможностях данной конструкции, о величинах и характере тех воздействий на конструкцию, при которых она может выполнять свои функции. Отсюда следует, что конструкцию характеризуют не только структуры и параметры, но и воздействия на нее. Эти воздействия суть характеристика связей конструкции со средой, объектом, человеком-оператором, и они могут быть выведены из общего многообразия связей конструкции.

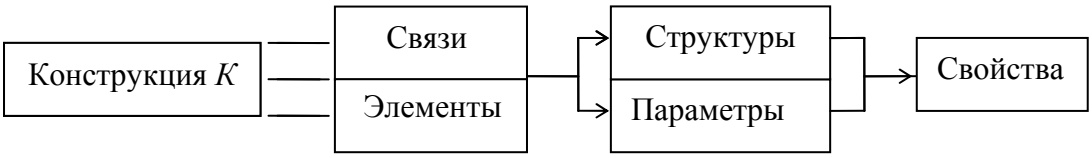


Рис. 1.9. Формирование свойств конструкции

Любая конструкция характеризуется многими *структурами* (*S*), многими *параметрами* (*F*) и многими *воздействиями* (*X*). Таким образом, с одной стороны, конструкцию можно представить как совокупность элементов в определенных связях, с другой стороны, любая конструкция является совокупностью множества структур и параметров, причем поставленных в соответствие множеству воздействий. Математически это можно записать как

$$K = (S, F),$$

где $S = f(X)$, $F = f(X)$.

Процесс разработки ЭС представлен на рис. 1.10. При разработке конструкции в техническом задании (вход) оговаривается часть множества структур (Э1, Э2, Э3 и т. д.), параметров (основные параметры) и воздействий (условия эксплуатации). Задача конструктора – выявить и отразить в документации (выход) множество структур и параметров в такой мере, чтобы изготовление конструкции в производстве возможно было *однозначно*, причем такой конструкции, которая бы соответствовала исходным данным.

Таким образом, **конструирование ЭС – это процесс, выходом которого является часть множества структур и параметров, поставленных в соответствие множеству воздействий и отраженных в конструкторской документации.**

На основе исходных данных решается вопрос выбора и, в случае необходимости, разработки элементов конструкции и входящих компонентов.

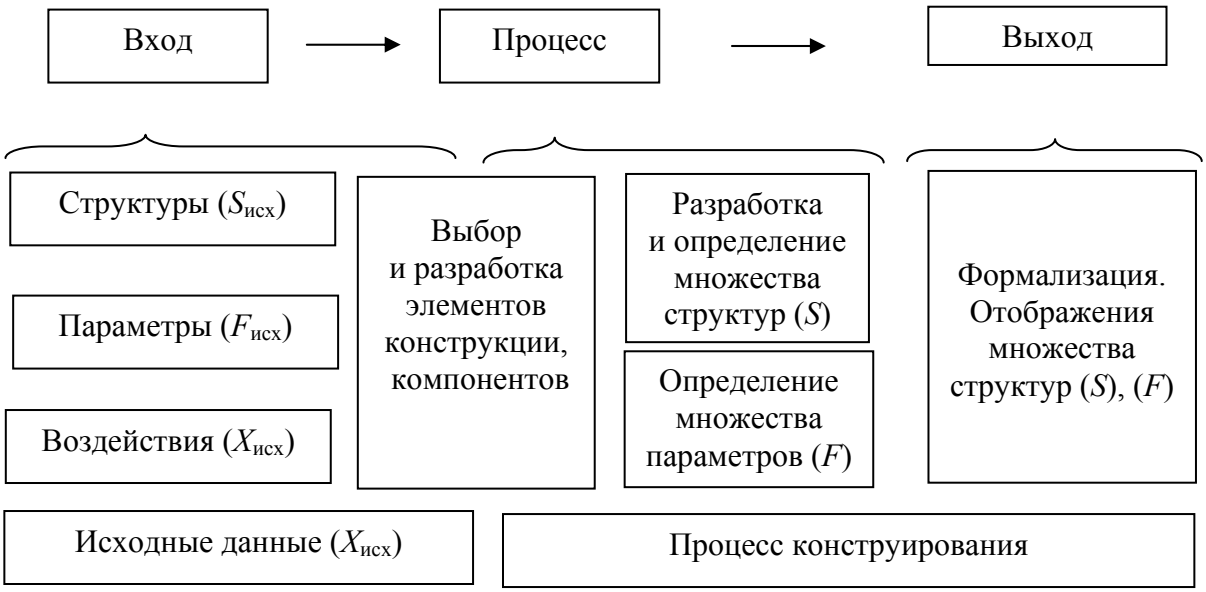


Рис. 1.10. Процесс разработки ЭС

Чрезвычайно важным моментом является выбор элементной базы. Если изменение структуры системы в процессе конструирования может быть осуществлено с относительно небольшими потерями времени и средств, то изменение системы элементов на последующих этапах проектирования в большинстве случаев связано со значительной перестройкой производства.

При выборе системы элементов обычно ориентируются на возможность реализации заданных функций, быстродействия, надежности, массы, габаритов, энергопотребления, помехозащищенности, технологичности изготовления и применения.

Выбор системы элементов, наряду со структурными методами, в значительной степени предопределяет надежностные характеристики проектируемой системы.

В настоящее время существует тенденция к широкому использованию в конструкции ЭС микросхем и микросборок, в частности микропроцессоров.

Аппаратура на микросхемах и микросборках характеризуется следующими особенностями:

- возможность выполнения сложной ЭС в виде одноблочных устройств;

- обеспечение высокой надежности;
- возможность увеличения тепловых напряженностей в 3–5 раз;
- значительное увеличение вибро- и ударопрочности и устойчивости конструкций благодаря отсутствию или малому количеству крупногабаритных, массивных деталей;
- обеспечение повышенной устойчивости к внешним воздействиям из-за увеличения числа герметичных изделий.

Формирование технического задания (ТЗ) – исходные структуры, параметры, воздействия – и выбор элементной базы позволяют перейти к следующей стадии в процессе конструирования ЭС – выявлению и организации структур и параметров конструкции. Этот этап включает в себя выбор, анализ и аналитическое определение структур и параметров, их моделирование, а в ряде случаев и согласование различных по типу структур и параметров, учет внешних воздействий. Задачи данной стадии решаются с применением различных методов конструирования ЭС. В результате определяются множества структур и параметров конструкции, которые соответствуют исходным данным, включая внешние воздействия.

Последняя стадия процесса конструирования ЭС – оформление документации, отражение в ней множеств структур и параметров, иными словами, *формализация* полученной в процессе конструирования информации, необходимой для изготовления и эксплуатации конструкции, с учетом определенных ограничений.

Рис. 1.11. Основные свойства и связи

Ограничения задаются, как правило, в виде ТЗ на конструирование и содержат тактико-технические данные (ТТД) на изделие в определенных условиях эксплуатации. Кроме этого налагаются определенные ограничения технологичностью конструкции: чем технологичнее изделие, тем легче его изготовить, тем меньше затрат на изготовление изделия. С требованиями технологичности связаны ограничения стандартизации. Для упрощения подготовки производства стандартизованы, например, крепежные изделия. Стан-

дартизованы или, по крайней мере, унифицированы типы и номиналы активных и пассивных элементов. Для упрощения и однозначности формализации информации об устройстве введены единые правила построения программной, конструкторской и технологической документации. Кроме того, в связи с постоянным взаимодействием ЭС с человеком-оператором (пользователем) готовое изделие должно отвечать требованиям эстетики и эргономики.

Независимо от назначения ЭС при их проектировании следует учитывать следующие основные свойства и связи (рис. 1.11).

1. *Необходимые связи*, обусловленные выполнением заданных функций:

- электрические (определяют выбор монтажных соединений);
- геометрические (определяют компоновку изделия);
- механические (определяют выбор материалов и варианты крепления).

При формировании перечисленных связей следует учитывать возникающие электромагнитные и тепловые связи, выступающие в общем случае как паразитные.

2. Свойства, определяющие *совместимость* ЭС:

- совместимость с объектом установки:
  возможность размещения;
  возможность закрепления;
  возможность подключения;
  исключение наводок на другие ЭС;
- тепловая совместимость;
- электрохимическая совместимость (выбор материалов и покрытий, работающих друг с другом без возникновения коррозии);
- электромагнитная совместимость;
- совместимость с человеком-оператором, удовлетворяющая требованиям технической эстетики и эргономики.

3. Связи, обеспечивающие *надежность* работы изделия при заданных условиях эксплуатации. Надежность определяется такими свойствами, как сохраняемость (обеспечивается защитой при хранении и транспортировании), безотказность и долговечность (обеспечиваются в первую очередь защитой от внешних воздействий), ремонтопригодность (обеспечивается компоновкой и видом крепления).

4. *Технологичность* – свойство конструкции, учитывающее условия производства (осваиваемость, время и стоимость изготовления).

5. *Патентность* (*патентная чистота* – наличие у объекта свойств в отношении определенных стран не попадать под действие охранных документов, выданных в этих странах; *патентная способность* – наличие у технического решения всех признаков изобретения).

Лекция 2

План лекции

1.5. Жизненный цикл ЭС.
1.6. Конструкторское проектирование.
1.7. История конструирования ЭС.
Контрольные вопросы.
Литература: [5, 15, 21, 42].

1.5. Жизненный цикл ЭС

Изготовлению конструкции всегда предшествует ее разработка, т. е. процесс всестороннего исследования, в итоге которого получаются нужные результаты. Для радиоэлектронной аппаратуры, например, производится разработка основных тактико-технических показателей, разработка структурных, функциональных и других схем, разрабатывается геометрическая форма и размеры с учетом пространственных, силовых, электромагнитных связей.

В общем случае основные этапы жизненного цикла (ЖЦ) ЭС представлены на рис. 1.12.

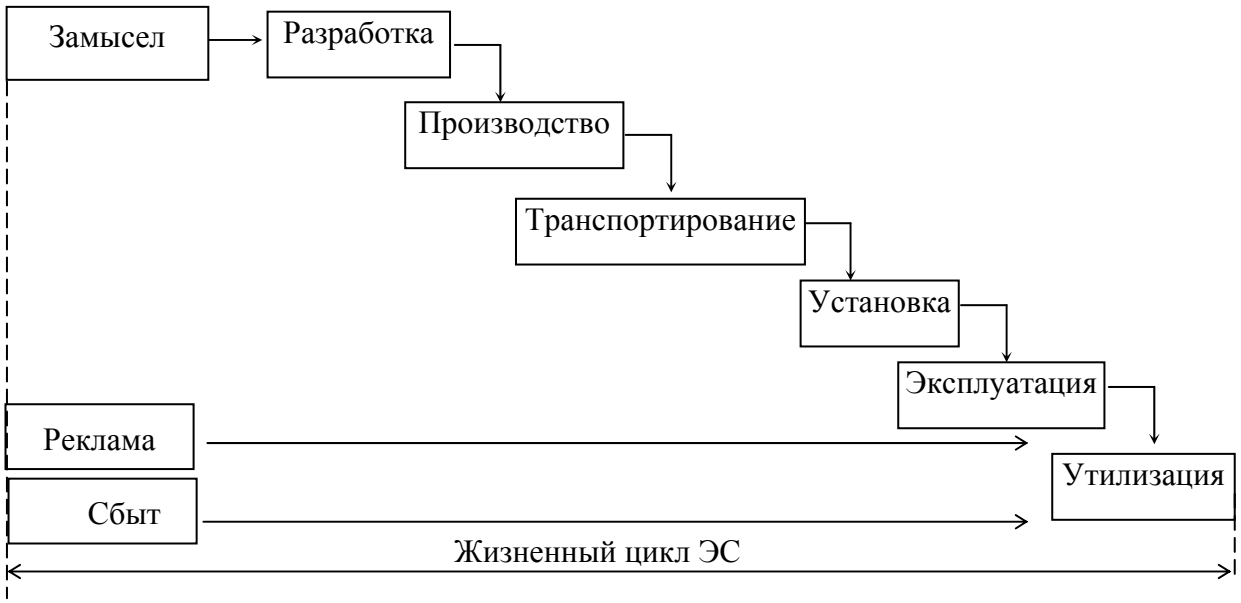


Рис. 1.12. Основные этапы жизненного цикла ЭС

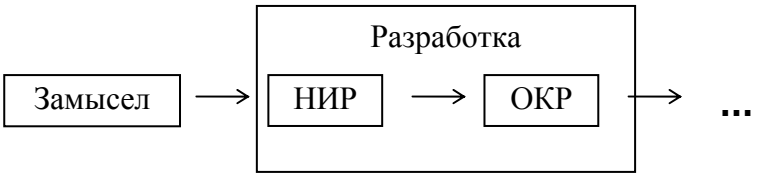


Рис. 1.13. Структура этапа «Разработка»

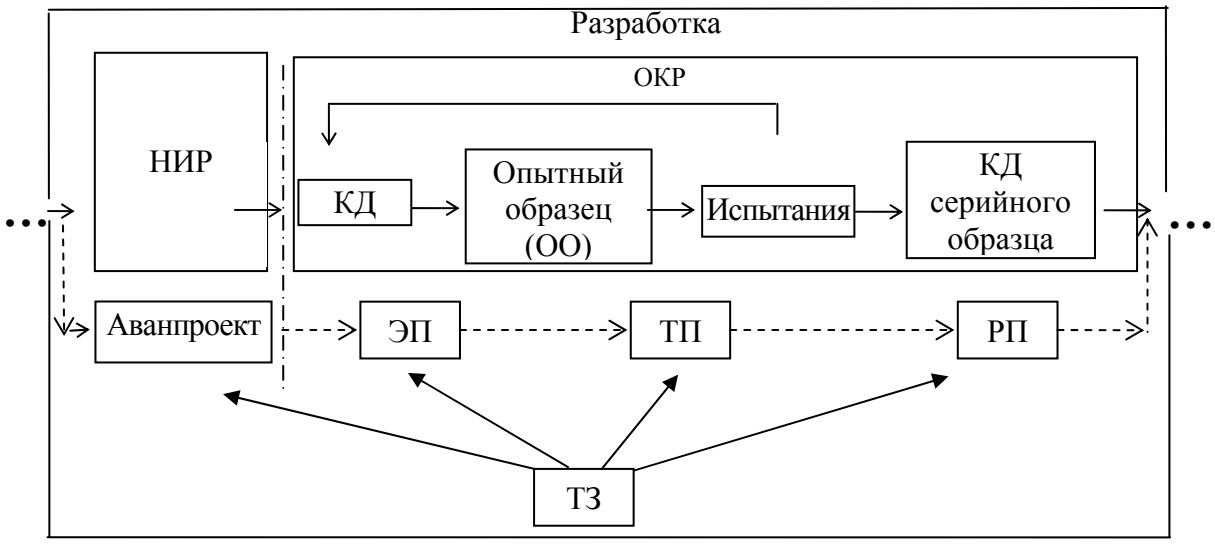


Рис. 1.14. Этапы разработки ЭС по системе ЕСКД

Любая конструкция или система начинается с абстрактного представления – *мысленного плана*, созданного воображением проектировщика. Это представление новой системы никогда не возникает в законченном и отработанном виде.

Для материализации абстрактной модели новой ЭС, она должна быть *спроектирована*, т. е. после замысла начинается *разработка*, которую можно условно разбить на два этапа (рис. 1.13).

В процессе научно-исследовательской работы (НИР) производится системный анализ, т. е. определение целей, нахождение основных путей и выбор методов решения поставленной задачи, нахождение принципов реализации устройств и составление технического задания (ТЗ).

В процессе опытно-конструкторской разработки (ОКР) производится:

- изготовление комплекта конструкторской документации (КД);
- изготовление опытного образца;
- испытание опытного образца;
- изготовление КД серийного образца.

По ЕСКД этапы разработки могут быть представлены в виде следующих проектов (рис. 1.14):

- аванпроект (техническое предложение);
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект (ТП);
- рабочий проект (РП).

Примерный состав работ, выполняемых на этапе НИР, приведен на рис. 1.16, примерный состав работ, выполняемых на этапе ОКР, – на рис. 1.17.

Одновременно с *разработкой* КД для серийного образца производится разработка *технологии производства*: прежде чем приступить к серийному производству, необходимо иметь чертежи и инструкции, производственную площадь, оборудование и методику испытаний, а также испытательную аппаратуру.

Основанием для проведения работ на каждом этапе проектирования является техническое задание (ТЗ).

В *производстве* первоначально изготавливаются узлы и блоки, затем выполняется сборка приборов, шкафов и стоек и, наконец, сборка всей ЭС.

Некоторые системы ЭС создаются всего в одном или нескольких экземплярах, число других составляет миллионы. Время производства одних устройств исчисляется неделями, а для некоторых радиотехнических систем (РТС) составляет десятки лет. Для будущего обеспечения технического обслуживания и ремонта изготавливается также запасное имущество приборов (ЗИП).

Изготовленные устройства *транспортируются* к месту установки и эксплуатации. Многие системы ЭС перевозятся к месту эксплуатации в разобранном виде и собираются либо на месте эксплуатации, либо неподалеку от него.

Сроки службы многих сложных систем измеряются десятилетиями.

Снятию с производства изделия подлежат в случаях:

- освоения производства нового изделия, имеющего более высокие технические характеристики и/или технико-экономические показатели;
- отсутствия заказа в течение трех и более лет по причине отсутствия спроса;
- выявления при эксплуатации свойств, отрицательно сказывающихся на здоровье людей и состоянии окружающей среды.

При снятии изделия с производства подлинники конструкторской и технологической документации хранит предприятие-держатель подлинников для возможности выпуска ЗИП и проведения ремонтных работ, причем за все время хранения документации в нее вносятся изменения.

В целях воспроизводства изделия в течение его жизненного цикла сохраняется и специальная технологическая оснастка.

Снятие с эксплуатации последнего образца означает конец всего поколения данной системы.

Этапы «Реклама» и «Сбыт» могут охватывать большой период существования системы. В частности, системы ЭС, предназначенные для эксплуатации в военных целях, могут быть проданы еще до того, как началось проектирование системы. Как правило, рекламирование изделия начинают с запуска его массового производства.

Мероприятия по сбыту могут быть различными. Например, скупка у населения старой техники повышает спрос на новые марки изделий ЭС.

К мероприятиям по сбыту можно отнести и оформление изделия в специфичных формах конструкции. Например, особенности психологического восприятия человека таковы, что взгляд сначала останавливается на одушевленных объектах, и в первую очередь на лице человека. Поэтому композиционное оформление передних панелей ЭС, стилизованное под человеческое лицо (рис. 1.15), часто приводит к увеличению продаж таких изделий.

а *б* *в*

Рис. 1.15. Оформление передних панелей персональных компьютеров:
а – строгое; *б*, *в* – стилизованное

Этапы ЖЦ изделия, представленные на рис. 1.12, могут быть упорядочены во времени не полностью, а частично. Некоторые этапы должны предшествовать другим и, соответственно, должны быть упорядочены во времени. Например, аппаратура должна быть изготовлена прежде, чем пущена в эксплуатацию.

Для некоторых этапов упорядочение во времени не играет роли. Так, одни узлы и блоки аппаратуры могут быть спроектированы до или после готовности других узлов. И наконец, этапы могут перекрываться во времени.

Различные варианты расстановки этапов ЖЦ зависят от конкретного ЭС. Иногда можно приступить к производству еще до окончания проектирования. Если запуск пройдет успешно, то первый комплект будет изготовлен быстрее, чем это можно было ожидать. Но в случае возникновения непредвиденных трудностей в процессе проектирования такая поспешность может привести к значительным потерям времени и средств.

1.6. Конструкторское проектирование

Радиоэлектроника, а вместе с ней и конструирование в своем развитии пережили немало скачков, вызванных освоением новых диапазонов волн, новых методов генерирования сигналов и т. д. Однако методы разработки ЭС менялись мало. Традиционными стали три уровня разработки. На первом уровне, считающемся наиболее высоким, происходит определение функциональных задач ЭС, рассматриваются технические принципы их решения

и определяются такие характеристики аппаратуры, как мощность и длина волны, способы излучения и приема сигналов.

Первый уровень завершается разработкой структурной схемы ЭС

и определением функциональных требований к его блокам.

На втором уровне проектирования осуществляется разработка принципиальных электрических схем блоков на основе требований, определенных на первом уровне проектирования.

И, наконец, *на третьем уровне* происходит конструирование аппаратуры и разрабатываются технологические процессы ее производства. Этот уровень традиционно находился в «тисках» решений, принятых на первом и втором уровнях проектирования, что для творческой деятельности инженера-конструктора оставляло очень мало простора.

Алгоритм проведения работ на первом и втором уровнях разработки, т.е. проектирования, представлен на рис. 1.16.

Проектирование есть разработка основных показателей радиотехнической системы и путей их практического осуществления. Результатом проектирования является совокупность данных, которая может лечь в основу разработки технических документов, необходимых для изготовления и эксплуатации устройства.

Рис. 1.16. Примерный состав работ на этапе проектирования

Третий этап разработки традиционно называется *конструированием*. Состав работ, проводимых на данном этапе, в общем виде представлен на рис. 1.17.

Конструирование – это процесс выбора структуры, пространственных и энергетических взаимосвязей и связей с окружающей средой и объектами физических тел, их материалов и обработки, установление количественных величин, пользуясь которыми можно изготовить изделие, отвечающее заданным требованиям.

Конечным результатом процесса конструирования является комплект технических документов, отображающих всю совокупность задаваемых норм на вновь разрабатываемое изделие.

Таким образом, конструирование есть составная часть процесса разработки ЭС.

В настоящее время отмечается тенденция повышения роли конструктора не только на втором, но и на первом уровне разработки ЭС. Это обусловлено следующим:

появление микроэлектроники и развитие физики твердого тела привели к тому, что для разработки принципиальных схем и определения принципов создания новой ЭС стало необходимым привлечение опытных конструкторов, способных оценить те или иные варианты построения РТС с точки зрения создания высокоэффективной аппаратуры, применение которой экономически целесообразно;

при разработке аппаратуры стоечного и кассетного вида конструктор принимает участие на всех уровнях проектирования. На основе качественно новых конструкций аппаратуры возникают и качественно новые возможности их использования. Для создания таких конструкций инженер-конструктор должен обладать фундаментальными знаниями в области физики твердого тела и радиоэлектроники.

Сегодня участие инженера-конструктора на всех этапах разработки ЭС является решающим фактором научно-технического прогресса в данной области.

Рис. 1.17. Примерный состав работ на этапе конструирования

На рис. 1.18 условно показан вклад инженера-схемотехника и инженера-конструктора при проектировании ЭС различных иерархических уровней для разных поколений ЭС.

Таким образом, можно «увязать» процесс конструирования с другими стадиями разработки ЭС, как показано на рис. 1.19.

Основной задачей проектирования является получение эффективного ЭС (рис. 1.20).

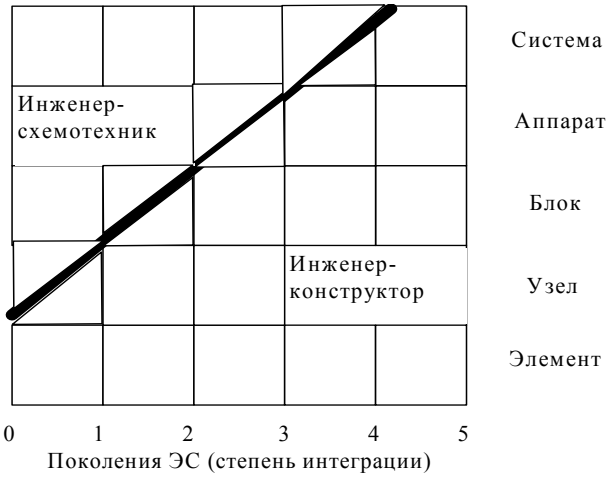


Рис. 1.18. Вклад инженера-схемотехника и инженера-конструктора при проектировании ЭС

Рис. 1.19. Связь процесса конструированияс другими стадиями разработки ЭС

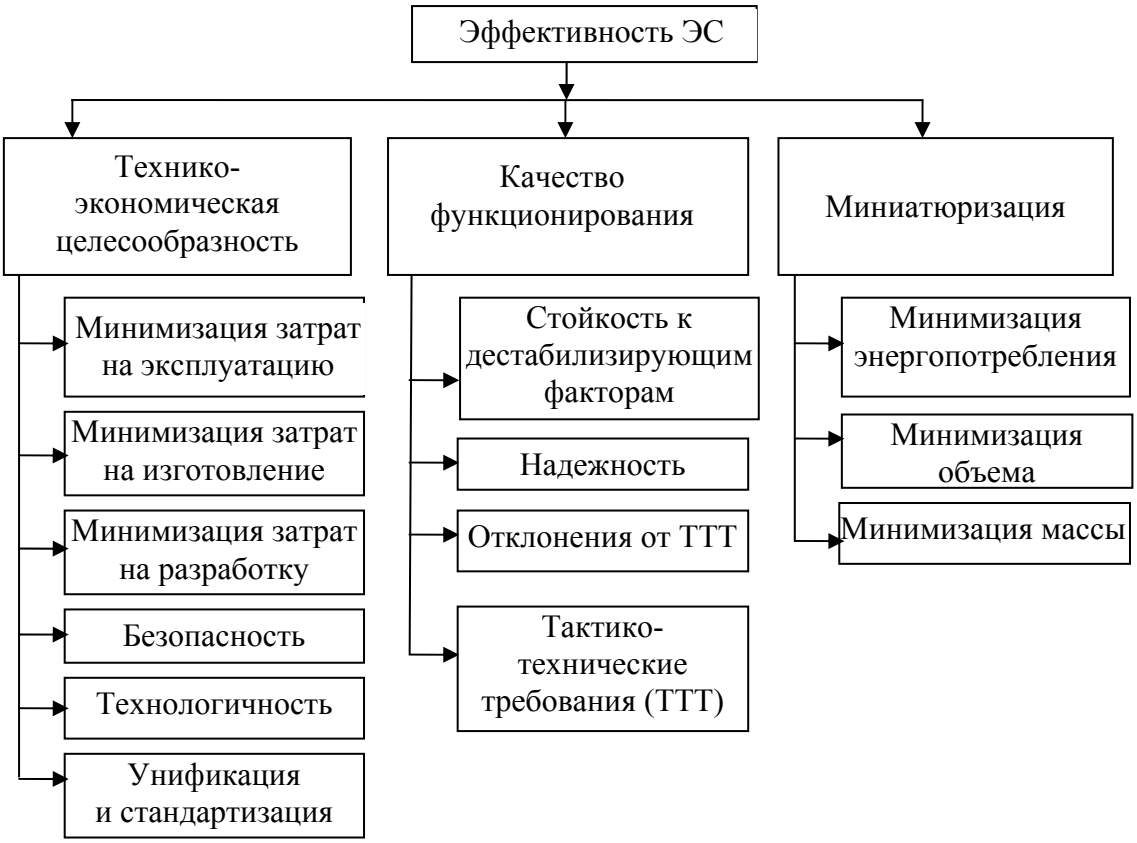


Рис. 1.20. Основные требования к процессу создания эффективной ЭС

Эффективность электронной аппаратуры во многом определяется решениями, принятыми на этапах НИР и ОКР.

1.7. История конструирования ЭС

Конструирование радиоаппаратуры началось в конце XIX в. одновременно с развитием радиотехники. Для первых конструкций основой служил деревянный ящик, на стенках которого размещались необходимые детали. Так как в первых радиоустройствах число каскадов было невелико, то экранировались только катушки индуктивности. По мере возрастания числа каскадов и увеличения коэффициента усиления возникла необходимость в межкаскадной экранировке.

В конце 1920-х гг. появилось металлическое шасси, на котором располагались элементы, что позволило уменьшить нежелательные связи по электромагнитному полю. В то же время появились этажерочные конструкции изделий, т. е. сложная система разбивалась на блоки, расположенные один над другим.

Внедрение пайки вместо винтовых соединений в начале 1930-х гг. позволило существенно упростить конструкцию контактного узла. Это привело к уменьшению габаритов радиоэлектронных средств (РЭС), более близкому расположению электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и, как следствие, к увеличению паразитных связей. Применение в конце 1930-х гг. радиоаппаратуры на самолетах и автомобилях поставили перед конструкторами задачи обеспечения влагозащиты, виброизоляции, сохранения работоспособности РЭС при резком изменении температуры и т. д., что привело к специализации аппаратуры по условиям эксплуатации и объекту установки.

С середины 50-х гг. прошлого века резко возрастает уровень сложности РЭС. Большое тепловое излучение ламп создавало принципиальные трудности в конструировании РЭС из-за повышения внутреннего нагрева устройств. Проблема была решена благодаря применению транзисторов, освоенных в то время уже серийно.

Появление ЭВМ, состоящих из большого числа одинаковых каскадов, привело к созданию однотипных конструктивных узлов-модулей.

Результатом поисков методов изготовления, позволяющих повысить производительность труда путем автоматизации, стало применение с начала 1950-х гг. печатного монтажа, а к середине 1960-х гг. – с появлением микроэлектроники – групповых методов производства.

За прошедшее столетие произошла смена пяти поколений ЭС. Основным отличительным признаком поколения считается элементная база и метод конструирования (табл. 1.1):

в первом поколении ЭС применялись электронные лампы, крупногабаритные навесные ЭРЭ, блочный метод;

во втором – транзисторы, миниатюрные ЭРЭ, модульный метод;

в третьем – интегральные схемы (ИС) с небольшой степенью интеграции (100–1000 эл./корп.), функционально-узловой метод;

в четвертом – большие интегральные схемы (БИС) и сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), функциональные компоненты, функционально-узловой метод;

пятое поколение ЭС (настоящее время) характеризуется применением микропроцессорных устройств, увеличением сервиса, использованием функционально-узлового метода.

Кроме отмеченных признаков, при развитии конструкций ЭС менялись используемые материалы и дизайн ЭС.

В 30-е гг. прошлого века был осуществлен переход от несовершенной техники прямого усиления (радиоприемники БЧ, ЭЧС, ЭКЛ и др.) к супергетеродинам. Последние работали на металлических лампах и обеспечивали параметры, достаточные для уверенного приема мощных радиостанций всего мира на наружную антенну. Среди таковых назовем 6Н1 и СВД различных модификаций, ставшие массовыми радиоприемниками для городских радиослушателей. Существовали также батарейные приемники (РПК, БИ-234 и др.) для местностей, не имевших сетей переменного тока. Выпускались в те годы и детекторные приемники (рис. 1.21).

Таблица 1.1

Элементная база поколений ЭС

<table>
<tr><th colspan="5">Элементная база</th></tr>
<tr><th colspan="5">Поколения ЭС</th></tr>
<tr><th>1</th><th colspan="2">2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th></tr>
<tr><td>Электрические лампы</td><td>Модули</td><td>Микро-модули</td><td>ИС малой степени интеграции</td><td>БИС
СБИС
СБГИС</td><td>БИС
СБИС
СБГИС</td></tr>
<tr><td>Обычные</td><td>Плоские</td><td rowspan="2">Этажерочные</td><td>Гибридные</td><td>Гибридные</td><td>Гибридные</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Миниатюрные</td><td rowspan="3">Объемные</td><td rowspan="2">Полупроводниковые</td><td rowspan="3">Полупроводниковые</td><td>Полупроводниковые</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Плоские</td><td>ФУ</td></tr>
<tr><td>Однокристаллические ЭВМ</td></tr>
</table>

«Радиолина». Первый отечественный радиоприемник. Модель 1924 г. Трест заводов слабого тока. (Экспонат Политехнического музея в г. Москве)

4НБС-6 (четырехламповый настольный батарейный). Модель 1939 г. Воронежский завод «Электросигнал»

Рис. 1.21. Радиоприемники 1920–30-х гг.

«Ленинград». Модель 1946 г.
Завод им. Козицкого.
Приемник с фиксированной настройкой

Радиола «Рекорд» на базе модифицированного приемника «Рекорд-47». Бердский радиозавод

Рис. 1.22. Радиоприемники 1940-х гг.

Радиола «Октава». Модель 1957 г.
Горьковский радиозавод

«Звезда-54». Модель 1954 г.

Рис. 1.23. Радиоприемники 1950-х гг.

«Муромец» (с часовым механизмом
включения-выключения).
Модель 1959 г.
Муромский завод РИП

Радиола «Эстония-2».
Разработка 1959 г. Таллиннский завод «Пунане РЭТ»

Радиола «Ригонда-стерео». Модель 1964 г. Первая советская стереофоническая радиола.
Рижский завод «Радиотехника»

Рис. 1.24. Радиоприемники 1960-х гг.

К 1946 г. в СССР была разработана большая серия радиоприемников, которые затем выпускались различными заводами и отличались большим разнообразием принципиальных и дизайнерских решений. Среди них как массовые малоламповые модели («Москвич», «Рекорд»), так и дорогие сложные приемники («Маршал», «Ленинград»). Качество работы приемников и их оформление значительно улучшились. Многоламповые приемники тех лет до сих пор способны удовлетворить своей работой искушенных радиослушателей (рис. 1.22).

1950-е гг. стали «золотым веком» советского лампового радио. Именно тогда было достигнуто оптимальное соотношение цены и качества бытового радиоприемника. Широкое применение к концу десятилетия пальчиковых радиоламп позволило улучшить и массогабаритные характеристики. Однако приемник «Мир» модели 1952 г., собранный на «старых добрых» октальных лампах, остается, по мнению многих специалистов и радиолюбителей, лучшим по качеству и устойчивости приема среди аппаратов того времени. Заводы соревновались в разработке разнообразных схем и ящиков, которые и сейчас радуют глаз красивой фанеровкой (рис. 1.23).

1960-е годы ознаменовались универсализацией как схемно-конструктивных, так и дизайнерских решений радиоприемников. Основой тому стало внедрение в производство экономичных технологий печатного монтажа и удешевление электронных компонентов при массовом производстве. Из «облика» приемников начал исчезать «аромат эпохи», столь характерный для добротных приемников ручной сборки прежних лет. Даже появление УКВ-диапазона не позволило забыть «бархатный» звук старых «монстров». Самой массовой стала схема приемника II класса, разработанная в конце 1950-х гг. и растиражированная во многих моделях «обезличенного» дизайна. Качественные показатели были принесены в жертву удешевлению. Из приемников того времени интересен «Фестиваль», который имел дистанционное управление громкостью, настройкой и диапазонами с пульта ДУ с проводом в палец толщиной. Эти годы стали временем заката «музыкальных шкафов» – наступало время транзисторов (рис. 1.24).

В настоящее время стальные элементы несущих конструкций сменили алюминиевые, пластмасса вытеснила дерево и, в ряде случаев, металлы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под термином «конструкция»? Какова ее сущность?
2. Какие бывают конструкции ЭС?
3. Перечислите свойства, которые наиболее полно характеризуют любую конструкцию ЭС.
4. Какие основные свойства и связи, независимо от назначения, необходимо учитывать при проектировании ЭС?
5. Назовите основные этапы жизненного цикла ЭС.
6. Перечислите примерный состав работ, выполняемых на этапе НИР.

7. Дайте определения понятиям «проектирование» и «конструирование». Чем характеризуются эти процессы?

8. В каких случаях изделия подлежат снятию с производства?

9. Что является основной задачей проектирования?

10. Охарактеризуйте основные этапы истории развития конструирования ЭС.

2. ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Лекция 3

П л а н л е к ц и и

2.1. Структура и взаимосвязь ограничений.
2.2. Ограничения на метод проектирования.
2.2.1. Сроки проектирования.
2.2.2. Требования комплексной микроминиатюризации.
2.2.3. Уровень знаний.
2.2.4. Влияние вычислительной техники.
2.2.5. Лабораторное оборудование.
2.3. Требования к выполнению ограничений.
Л и т е р а т у р а: [5, 42].

2.1. Структура и взаимосвязь ограничений

Как говорилось ранее, знание только структур и параметров системы не позволяет решить вопрос об эксплуатационных характеристиках данной конструкции, т. е. конструкцию характеризуют не только структуры и параметры, но и воздействия, при которых она может работать.

Условия эксплуатации – это определяющие ограничения, накладываемые на конструкцию ЭС.

Кроме этого при разработке конструкции сталкиваются с ограничениями, связанными с несовершенством, а во многих случаях и с отсутствием методик выбора тех или иных конструктивно-технологических решений. Если в первые годы научно-технической революции можно было пользоваться опытом создания предыдущих конструкций, то в настоящее время часто этого опыта нет, так как создание новых систем ЭС базируется на совершенно иных принципах реализации изделий. Поэтому механическое следование разработанным методикам ведет к созданию ЭС нестойкой к моральному старению.

Как отмечалось в предыдущей лекции, при переходе от одного поколения ЭС к другому происходит увеличение вклада инженера-конструктора в проектирование изделий любого уровня – от системы до компонентов. Это обстоятельство привело к замене термина «конструирование» на термин «инженерное проектирование», отражающий перераспределение ролей разработчиков ЭС в общем цикле проектно-конструкторских работ.

Задачей инженерного проектирования является разработка систем при некоторых ограничениях, обусловленных способом решения, обеспечивающая оптимальное выполнение поставленной задачи при некоторых ограничениях, накладываемых на решение.

Рис. 2.1. Состав ограничений при проектировании

Если первая группа ограничений относится к методу проектирования и на результат влияет опосредованно, то вторая относится непосредственно к результату проектирования, т. е. к конструкции ЭС (рис. 2.1).

Ограничения по возможности применения того или иного метода проектирования, включая моделирование протекающих в ЭС процессов, определяет предприятие-разработчик исходя из своего ресурсного потенциала. Заказчик, как правило, не влияет на определение таких ограничений. Для последнего важен только результат – конкретная аппаратура, прибор, вычислительная система и т. д., поэтому он формулирует требования только к результату проектирования, которые отражаются в техническом задании (ТЗ) вместе со сроками проектирования.

Ограничения на результат проектирования будут рассмотрены отдельно. В данной лекции мы рассмотрим только ограничения, налагаемые на метод проектирования ЭС.

2.2. Ограничения на метод проектирования

2.2.1. Сроки проектирования

При современных, все ускоряющихся темпах научно-технического прогресса предельное сокращение сроков проектирования становится одним из главных требований к процессу проектирования. Действительно, при увеличении сроков проектирования новизна и оригинальность решений, используемых в проекте, теряется. Еще не будучи осуществленным, проект может морально устареть и потерять смысл. Поэтому одной из главных характеристик процесса проектирования становится его быстротечность.

От начала проектирования до выпуска серийного образца проходит определенный период времени, и тем больший, чем сложнее изделие. Этот период в общем случае состоит из следующих этапов:

- проектирование;
- изготовление;
- заводская отладка и доводка опытного образца;
- промышленные испытания;
- внесение изменений по результатам испытаний;
- государственные испытания и приемка опытного образца;
- изготовление технической документации головной серии;
- изготовление головной серии:
- промышленные испытания;
- разработка документации для серийного запуска;
- подготовка производства к серии;
- серийный выпуск.

Для сложных изделий этот процесс в лучшем случае длится полтора-два года. Иногда длительность его доходит до трех-четырех лет. Однако при малых сроках проектирования трудно получить прибор, обладающий высокими показателями качества, ибо разработка есть не что иное, как постепенная оптимизация исходного варианта изделия. При больших сроках проектирования появляется вероятность выпуска морально устаревшего изделия (рис. 2.2).

Процесс формирования технических требований (ТТ) к разрабатываемому изделию, включая сроки проектирования, по своей сути носит конфликтный характер. Разработчик стремится заложить ТТ ($Z_р$), достигнутые при разработке предыдущего изделия: для него это гарантия выполнения проекта. Однако в большинстве случаев эти требования ниже мирового уровня ($Z_м$). Заказчик, наоборот, стремится получить изделие с ТТ ($Z_з$), превышающими мировой уровень. При утверждении ТЗ с ТТ, превышающими мировой уровень, ситуация может развиваться по трем сценариям, поскольку технический прогресс не стоит на месте и за время проектирования мировой уровень качества изделий растет.

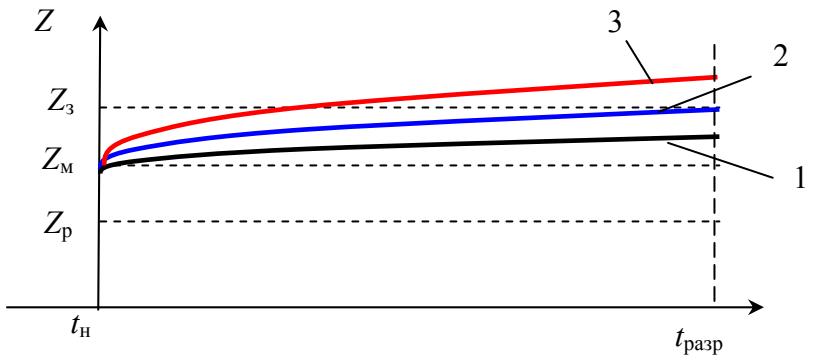


Рис. 2.2. Зависимость технического уровня (Z) от сроков проектирования (t): $Z_з$ – технический уровень, первоначально выдвинутый заказчиком; $Z_м$ – мировой уровень на момент окончания проектирования; $Z_р$ – технический уровень, достигнутый разработчиком при проектировании предыдущего изделия; *1–3* – варианты развития ситуации

Вариант 1: за время проектирования мировой уровень не превысил требований, установленных в ТЗ, и, следовательно, в заданные сроки изделие с требуемым качеством разработать не удалось.

Вариант 2: разработчик может удовлетворить требования заказчика.

Вариант 3: отсутствие гарантии достижения мирового уровня разработчиком и проигрыш заказчика, поскольку разработанное изделие имеет качество ниже достигнутого на мировом уровне.

2.2.2. Требования комплексной микроминиатюризации

Проблема комплексной микроминиатюризации вызвана высокой сложностью современных ЭС. Маломощные каскады, в зависимости от сложности изделий, составляют 20–30 % от их общего объема и веса. Следовательно, в ЭС применение микросхем и микросборок в одних только маломощных каскадах не достаточно эффективно для снижения массы и габаритов аппаратуры.

Имеется шесть условий осуществления комплексной микроминиатюризации:

- построение функциональной схемы ЭС с наибольшим использованием дискретных цифровых принципов, с заменой электромеханизмов на электронные каскады;
- перевод электрической схемы ЭС на микроэлектронный компонентный базис (микросхемы общего применения и микросборки) и построение остальной части электронных каскадов на микросхемах частного применения, а также широкое применение элементов функциональной электроники;
- интенсификация теплоотвода, связанная в первую очередь с применением твердотельных микроохладителей;

- применение новых принципов формирования мощного электромагнитного излучения, позволяющих исключить крупногабаритные генераторные лампы, например применение фазированных антенных решеток (ФАР);
- использование в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) интегральных схем частного применения, микрополосковых линий (МПЛ), генераторов Ганна и т. д.;
- целенаправленная (для комплексной микроминиатюризации) разработка компонентов.

2.2.3. Уровень знаний

Уровень квалификации разработчика оказывает влияние, во-первых, на сроки проектирования и, во-вторых, на качество изделия. На предприятиях проектировщики, конструкторы аппаратуры, в зависимости от опыта, уровня подготовки, занимают различные должности. Например, в конструкторских отделах имеются следующие штаты: техник-конструктор, инженер, инженер-конструктор 3, 2 и 1-й категории, ведущий инженер и др. В зависимости от сроков разработки и сложности задачи решение проблемы поручается тому или иному исполнителю.

2.2.4. Влияние вычислительной техники

Влияние программных средств проявляется в наличии (или отсутствии) программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс разработки ЭС и проводить моделирование протекающих в ЭС физических процессов с целью сокращения сроков натурных испытаний. К такому программному обеспечению относят: программы чертежной графики (AutoCAD, «Компас-График», Visio и др.), программы автоматизированной разработки печатных плат (P-CAD, AccelEDA), программы расчета тепловых режимов ЭС, программы расчета электрической и электромагнитной совместимости и др.

Внедрение CALS-технологии как технологии сопровождения изделия на протяжении всего его жизненного цикла требует специальных программ.

Аппаратные средства оказывают влияние на быстродействие программного обеспечения и, следовательно, на производительность конструктора-разработчика. Так, на работу с программами трехмерной графики и обработки изображений может уходить значительное время (иногда до десятков минут). Решение проблемы достигается либо дальнейшим наращиванием объема оперативной памяти, частоты процессора и системной шины, либо включением поддержки необходимых функций на уровне «железа» (например, поддержка графических приложений в компьютерах фирмы Apple).

Внедрение машинного проектирования позволило резко сократить сроки проектирования, особенно сложных систем. С помощью ЭВМ в настоящее время производится не только проектирование электрических схем, расчет их

по постоянному и переменному току, но и разработка печатного монтажа, топологии интегральных схем, а также выпуск КД различного назначения.

Вычислительная техника не только позволяет снизить сроки проектирования ЭС, но и улучшить их качество. Например, при коэффициенте заполнения печатной платы по площади более 0,7 машина справляется с компоновкой печатной платы лучше и быстрее человека, однако почти всегда требуется корректировка печатных проводников, и тем больше, чем больше коэффициент заполнения.

2.2.5. Лабораторное оборудование

Возможности имеющегося лабораторного оборудования влияют в основном на сроки проектирования. При отсутствии необходимого оборудования качество разработанных схем получается довольно низким и изделия в дальнейшем требуют длительной отработки после проведения испытаний.

2.3. Требования к выполнению ограничений

При разработке требований к результату процесса проектирования следует учитывать, какие требования должны выполняться всегда, а какие – в большей или меньшей степени (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Основные требования к результату проектирования

Требования	Функции	Производство
Технические	В физико-техническом отношении удовлетворительно	Технически возможно
Экономические	Экономично	Правильная технология
Прочие	Удобно, надежно в эксплуатации	Безопасно, не требует больших нагрузок

Безусловно должны выполняться *технические требования*, обеспечивающие изготовление и функционирование изделия, а также *требования по безопасности*. Остальные же требования могут выполняться в большей или меньшей степени. Они необходимы для сравнения изделий, принятия решений и выбора лучшего варианта.

Лекция 4

П л а н л е к ц и и

2.4. Исходные данные для проектирования.
2.5. Техническое задание – этап проектирования ЭС.
2.6. Основная структура ТЗ на проектирование.
2.7. Классификация ЭС.
Л и т е р а т у р а: [5, 24, 29, 40, 42].

2.4. Исходные данные для проектирования

Исходными данными для разработки ЭС может быть следующая информация:

- ТЗ, выдаваемое планируемой организацией или заказчиком и определяющее параметры изделия, область и условия его применения;
- техническое предложение, выдвигаемое в инициативном порядке проектной организацией или группой инженеров;
- научно-исследовательская работа или созданный на ее основе опытный образец;
- изобретение или созданный на его основе экспериментальный образец;
- образец зарубежной машины или созданный на его основе опытный образец.

Первый случай наиболее общий, так как независимо от того, что явилось исходными данными для разработки на этапе ОКР (на этапе конструирования), *составление ТЗ необходимо*.

Таким образом, *техническое задание является основным исходным документом для разработки изделия*.

2.5. Техническое задание – этап проектирования ЭС

Согласно ГОСТ 2.103 составление технического задания является первой стадией разработки ЭС.

Техническое задание может быть составлено как на все изделие, так и на его составные части и содержит необходимые ограничения, связанные с условиями эксплуатации (климатические, механические, биологические воздействия), обслуживания (эргономические и другие факторы), производства ЭС (серийность выпуска, показатели технологичности), принципами функционирования (требования безопасности и помехозащищенности), а также сроки проектирования.

Обычно ТЗ в первоначальном виде составляется заказчиком и выдается для согласования разработчику изделия, который подвергает ТЗ тщательному

анализу как с позиции преемственности конструкции, так и с точки зрения единства стилевого решения всех приборов системы.

Конструктивная преемственность – это использование при проектировании предшествующего опыта радиоаппаратостроения и смежных отраслей введением в проектируемое устройство всего полезного, что есть в существующих конструкциях.

При анализе ТЗ основное внимание уделяется трем группам вопросов:

- возможность выполнения заданных требований к системе и проектирования без проведения фундаментальных научно-исследовательских работ;
- уточнение и согласование требований к проектируемой системе с заказчиком;
- оценка трудоемкости и сроков выполнения проектных работ и их согласованности с условиями проектирования и изготовления.

После проведения анализа ТЗ последнее уточняется, согласовывается с разработчиком и утверждается заказчиком. После утверждения ТЗ является основным документом разработчика.

Процесс согласования ТЗ содержит в своей основе конфликтную ситуацию, ибо заказчик стремится, чтобы в ТЗ были обозначены наилучшие характеристики проектируемой системы и возможно более короткие сроки разработки. Разработчик же, опираясь на имеющийся опыт, более объективно оценивает возможность реализации проекта в заданные сроки. Согласование ТЗ, как правило, достигается не сразу, а в результате нахождения компромиссных решений.

Объем исходных данных, содержащихся в ТЗ, зависит в первую очередь от назначения и сложности проектируемого изделия. Кроме того, состав ТЗ определяется квалификацией его разработчика, и в данном случае возможны три варианта:

если проектировщику предлагается задание, проработанное до мелочей, включая готовые технические решения, то им пользоваться, с одной стороны, легко, как неким «сводом предписаний»;

с другой стороны, поскольку требования системотехников, схемотехников, технологов, эксплуатационщиков обычно противоречивы, то их очень тяжело «увязать» в конкретное конструкторское решение;

при слабо проработанных ТЗ, при недостатке исходной информации, исходных ограничений ситуацию можно охарактеризовать как «пойди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что». В этом случае либо долго длится этап анализа ТЗ, либо много времени тратится на проработку большого числа вариантов конструктивного исполнения.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что ТЗ должно быть проработано только до такой степени детализации, чтобы было понятно, для чего служит разрабатываемое изделие, какие потребности должно удовлетворять, как и кем эксплуатироваться, с какими приборами должно сопрягаться и т. д. В этом случае, несмотря на вероятность некоторых жестких ограничений, всегда найдется возможность для творчества конструктора.

Напомним, что техническое задание может быть составлено как на все изделие, так и на его составные части. В последнем случае этот документ называют *частным техническим заданием* (ЧТЗ). В нем могут содержаться конкретные технические решения, обусловленные конструктивной реализацией вышестоящего иерархического уровня. Например, ЧТЗ на печатные узлы (ПУ) может содержать конкретные технические решения, определяющие форму печатной платы (ПП), варианты крепления в блоке, способ электрических сопряжений и пр. Наличие таких ограничений обусловливает унификацию, что в конечном итоге повышает технологичность изделия и снижает затраты на его изготовление.

В техническом задании, независимо от сложности изделия, указываются:

- сроки проектирования;
- назначение системы;
- условия эксплуатации;
- технические (конструктивные) требования;
- условия производства;
- требования по безопасности.

2.6. Основная структура ТЗ на проектирование

ГОСТ 15.005 регламентирует следующую основную структуру ТЗ на проектирование ЭС:

1. Общие сведения о разработке:
   1.1. Документы, на основании которых проводится проектирование.
   1.2. Характеристика области применения устройства.
   1.3. Название устройства и его условное обозначение.
   1.4. Общая характеристика объекта установки.
2. Сведения о мировом уровне данного вида продукции:
   2.1. Технические характеристики мирового уровня проектируемого изделия.
   2.2. Стоимость аналогичной продукции на мировом рынке.
   2.3. Документы и литература, содержащие сведения о разрабатываемом изделии или его аналогах.
3. Технические требования:
   3.1. Общие требования.
   3.2. Требования к конструкции.
   3.3. Требования к электрическим параметрам и режимам.
   3.4. Требования к устойчивости к внешним воздействиям.
   3.5. Требования по надежности.
   3.6. Требования по маркировке (указывается содержание основных маркировок).
   3.7. Требования к составным частям, сырью, исходным и эксплуатационным материалам.
   3.8. Требования по эргономике и технической эстетике.

3.9. Требования к радиоэлектронной и электрозащите.
3.10. Показатели назначения.
3.11. Требования к безопасности.

4. Экономические требования:
4.1. Контингент потребителей разрабатываемого изделия.
4.2. Новизна разрабатываемого изделия.
4.3. Конкурентоспособность разрабатываемого изделия.

5. Требования к разработке:
5.1. График выполнения работ.
5.2. Перечень конструкторской документации, подлежащей разработке.
5.3. Соответствие КД требованиям, изложенным в ЕСКД и других стандартах.

6. Требования к изготовлению:
6.1. Серийность выпуска.
6.2. Конкретное предприятие-изготовитель, технологическое оборудование которого может наложить ограничения на выбор конструктивно-технологических решений при проектировании изделия и его составных частей.

7. Требования к монтажу:
7.1. Ограничения к монтажу изделия, обусловленные объектом установки.
7.2. Ограничения к монтажу изделия, обусловленные квалификацией персонала, выполняющего монтаж изделия.

8. Требования к техническому обслуживанию и ремонту:
8.1. Субъективные условия эксплуатации.
8.2. Квалификация обслуживающего персонала.
8.3. Вид ремонтных мастерских.

Конкретные требования к изделию ЭС, как учитываемые при составлении ТЗ, так и подлежащие выполнению при разработке, определяются нормативно-технической документацией – ГОСТами, техническими условиями и т. п. Например, при составлении ТЗ на проектирование бытовых радиоприемников необходимо руководствоваться ГОСТ 5651 – «Аппаратура радиоприемная бытовая. Общие технические условия», а при составлении ЧТЗ на проектирование отсчетных устройств – ГОСТ 5365 – «Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования».

2.7. Классификация ЭС

Требования к конструкции того или иного изделия ЭС определяются в первую очередь назначением изделия (например, для медицинской и контрольно-измерительной аппаратуры условия эксплуатации определяются не только разными климатическими воздействиями, но и разным контингентом пользователей и т. д.). Поэтому попробуем разобраться, как можно класси-

фицировать ЭС и какие требования к конструкции определяются ее назначением.

Возможно классифицирование ЭС по следующим группам:

- *уровень подготовки пользователя*:
  бытовые и аналогичные им приборы;
  профессиональные ЭС;
- *частотный диапазон*:
  низкочастотные (НЧ) – 3 Гц – 3 кГц;
  высокочастотные (ВЧ) – 3 кГц – 300 МГц;
  сверхвысокочастотные (СВЧ) – 300 МГц – 3000 ГГц;
- *функция назначения* (рис. 2.3):
  для радиосвязи;
  медицинские;
  вычислительные;
  радиолокационные;
  электротехнические;
  контрольно-измерительные;
  телевизионные.

При проектировании бытовых и аналогичных приборов, в отличие от профессиональных ЭС, основное внимание уделяется простоте эксплуатации, поскольку с ними работает неподготовленный пользователь. Кроме этого требования по безопасности эксплуатации наиболее жестки для бытовых ЭС.

Частотный диапазон влияет в первую очередь на выбор линий связи, а также на выбор методов экранирования.

Назначение ЭС влияет на выбор типа несущих конструкций (например, контрольно-измерительная аппаратура должна агрегатироваться на рабочем месте регулировщика или настройщика ЭС). Поскольку назначение ЭС определяет специфику его использования, это накладывает отпечаток на применение тех или иных символов при маркировании изделий.

В настоящее время ЭС используется для связи, управления, навигации, различных научных исследований и в производстве. Суть и определяющие факторы ее работы следующие.

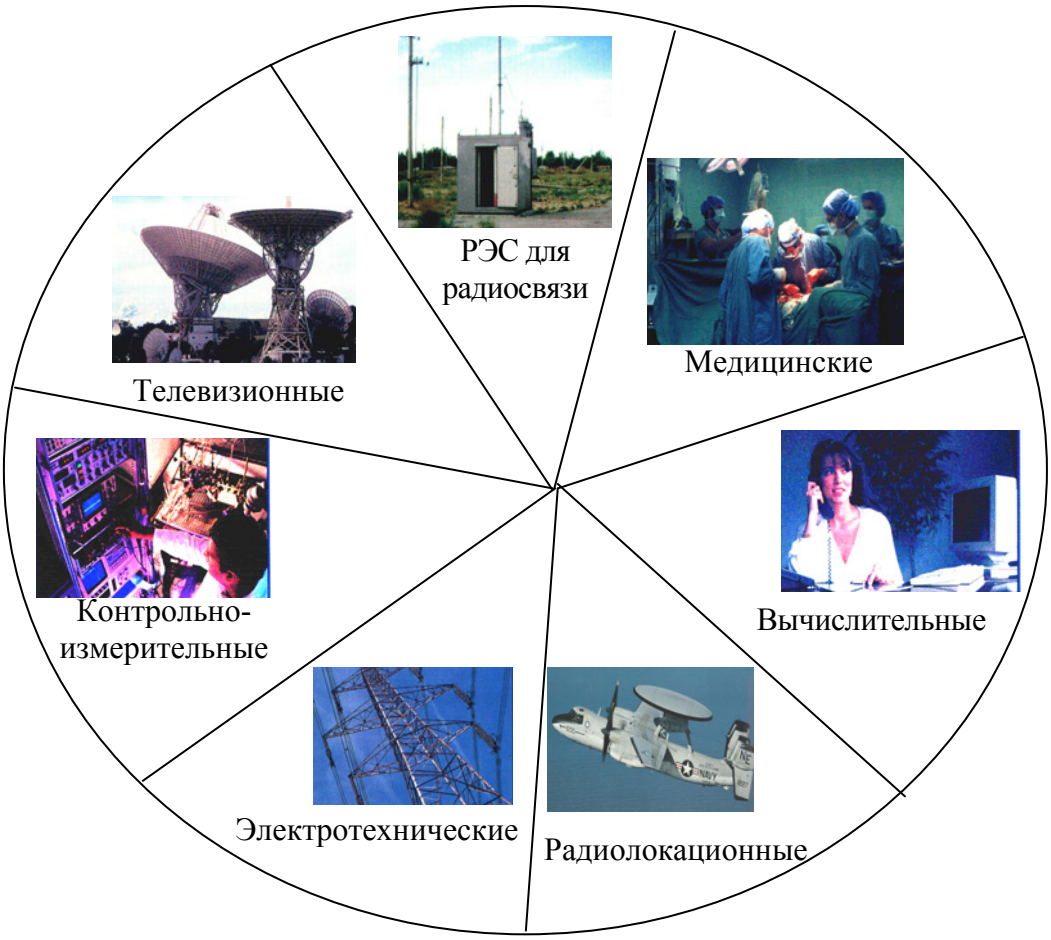


Рис. 2.3. Классификация ЭС по функции назначения

Оптическая, проводная и радиосвязь – передача радиосигналов от одного абонента к другому по радиооптическим или проводным линиям связи. Должна обеспечивать многоканальность, беспоисковое вхождение в связь, помехозащищенность от атмосферных и искусственных помех. При наличии промежуточных приемопередающих устройств получают радиорелейные линии связи.

Радиовещание и телевидение – передача речевых, музыкальных и визуальных ознакомительных или развлекательных сообщений большим группам людей. Должны обеспечивать достаточную дальность действия, число каналов и высокое качество воспроизведения сигналов (моно-, стерео- или квадрофоническое для акустических, черно-белое, цветное и объемное для визуальных). Могут использоваться для специальных целей в условиях работы промышленных, зрелищных, медицинских и других организаций (диспетчерские устройства связи, промышленное и медицинское телевидение, специальные звуковые эффекты и т. п.).

Радиоуправление – управление по эфиру или проводам с помощью радиосигналов промышленными, научными или военными объектами. Должно обеспечивать простоту, точность и скрытность управления.

Радиотелеметрия – получение информации о работе и состоянии объектов и людей с помощью специальных промежуточных преобразователей и

линий связи. Аппаратура должна обеспечивать точность, быстродействие и быть (особенно для малогабаритных объектов) малогабаритной и экономичной.

Радиометеорология – получение информации в основном с помощью специально оснащенных искусственных спутников Земли (например, «Метеор», «Нимбус») и наземных комплексов об облачности, температуре, различных образованиях и других факторах на поверхности Земли, определяющих погоду. Должна обеспечивать точность и своевременность получения метеоинформации.

Радиолокация – определение координат и характеристик объекта активными (источники импульсного или непрерывного излучения в составе радиолокационных станций – РЛС) или пассивными (источник радио- или теплоизлучения – сам объект) методами. Должна обеспечивать точность и достоверность работы, особенно в условиях пассивных или активных помех.

Радионавигация – особо точное определение координат объекта с помощью специальных источников радиоизлучения с точно известными координатами (например, береговые радиовещательные или специальные станции). Обеспечивает бóльшую точность (особенно на больших расстояниях) по сравнению с радиолокацией.

Радиоастрономия – получение информации о космических объектах с помощью приема и анализа их радиоизлучения. Так как ширина «радиоокна» в атмосфере намного больше оптического, то и количество информации тоже намного больше. Должна обеспечивать наивысшую чувствительность и широкополосность системы (ими определяется количество получаемой информации).

Медицинская радиоэлектроника – использование методов и средств радиоэлектроники в биомедицинских исследованиях, в качестве электронных стимуляторов деятельности отдельных органов человека, в создании протезов и диагностических систем. Должна обеспечивать высокую эффективность при минимальном нежелательном воздействии на организм и простом обслуживании.

Радиоизмерения – создание и использование специальных устройств для измерения или имитации различных сигналов, преимущественно электромагнитной природы. Должны обеспечивать требуемую точность, стабильность, уровень и быстродействие во всех научных исследованиях, для которых предназначены измерительные приборы или комплексы, включая, в частности, наручные электронные часы, средства комплексного контроля и другие подобные устройства. Должны проводиться с минимальным влиянием на параметры контролируемой цепи.

Устройства обработки данных обычно являются частью более сложных радиосистем или систем автоматизированного управления (АСУ), но могут быть выполнены и в виде самостоятельных систем, например электронные цифровые (ЦЭВМ), аналоговые (АЭВМ) или клавишные вычислитель-

ные машины (ЭКВМ). Должны обеспечивать простоту ввода и вывода данных, точность, бесшумность и надежность работы.

Устройства записи и воспроизведения сигналов – приспособления для записи и воспроизведения акустических, визуальных и специальных сигналов на проволочных, ленточных, дисковых, плоских ферромагнитных (магнитная запись), оптических (в том числе голографическая запись) и других по форме и физической природе носителях (магнитофоны, радиолы, запоминающие устройства (ЗУ) и т. п.). Должны обеспечивать в первую очередь требуемое качество и простоту управления. Для специальных устройств (например, ЗУ) могут предъявляться требования разного быстродействия при записи и воспроизведении.

Устройства энергетического характера – приспособления для непосредственного воздействия на свойства материалов или объект управления (некоторые устройства квантовой электроники, используемые в технологии микросхем, устройства высокочастотной закалки, аппаратура физиотерапии, специальные выходные устройства управления и т. п.). Должны обеспечивать избирательное энергетическое воздействие в соответствии с назначением. Их часто (как и некоторые электромеханические и фотооптические устройства) не относят к радиоэлектронике.

Рис. 2.4. Классификация ЭС по объекту установки

Средой установки ЭС могут быть:

- суша (стационарные, переносные, носимые, возимые ЭС – рис. 2.4);
- воздух (самолетные, вертолетные, космические и ракетные ЭС);
- вода (морские и речные корабельные, судовые, буйковые ЭС).

К бортовой, возимой и носимой ЭС, в отличие от стационарной, предъявляются требования по ограничению массы. Кроме того, объект установки часто определяет выбор тех или иных методов отвода тепла. Например, для космической ЭС невозможно применить естественное воздушное охлаждение.

Возимые ЭС для наземных транспортных средств подвергаются воздействию вибраций, ударов и ускорений. Возможно воздействие пыли, паров бензина и масел.

Корабельные ЭС требуют использования влагонепроницаемых корпусов и уплотнения осей органов управления.

Самолетные и вертолетные ЭС должны работать при пониженном атмосферном давлении, воздействии росы и инея, тумана, вибраций, ударов и других воздействий, определяемых конструкцией самолета и вертолета. Наиболее тяжелыми могут быть условия работы ракетных и космических электронных средств.

Таким образом, при разработке конструкции ЭС необходимо знание особенностей объектов-носителей и климатических условий местности эксплуатирования ЭС, которые оказывают существенное влияние на конструктивно-компоновочные параметры ЭС, на выбор материалов элементной и конструктивной базы.

Классификация ЭС по степени защищенности от внешних воздействий:

- защищенные от воздействия пыли и песка;
- защищенные от влаги:
  защищенные от попадания водных брызг;
  защищенные от кратковременного погружения;
  герметичные;
  защищенные от воздействия морской воды и солевого тумана;
- защищенные от воздействия солнечной радиации;
- защищенные от воздействия биологических факторов:
  защита от плесневых грибков;
  защита от насекомых;
  защита от грызунов;
- защищенные от воздействия полей СВЧ;
- защищенные от воздействия ионизирующего излучения.

Также возможна классификация ЭС по конструктивному исполнению, технологии изготовления, условиям применения и эксплуатации, виду входной электроэнергии, конструктивно-технологическим признакам, схемно-техническим решениям, технико-экономическим показателям и др.

Области использования и объекты-носители ЭС определяют параметры конкретного микроклимата в месте расположения ЭС. Легче всего обеспечить нормальную работу ЭС в отапливаемых помещениях в стационарных условиях. Стационарная и переносная ЭС, предназначенная для работы на поверхности земли, должна иметь в конструкции защитные корпуса с уплот-

нением и элементную базу, обеспечивающую нормальную работу при воздействии климатических факторов.

Лекция 5

План лекции

2.8. Условия эксплуатации:
факторы, воздействующие на ЭС;
субъективные факторы;
объективные факторы: внутренние и внешние.
Литература: [15, 21, 40, 41, 42].

2.8. Условия эксплуатации

Факторы, воздействующие на ЭС. Электронные средства применяются во всех областях народного хозяйства и, как было сказано в предыдущей лекции, могут быть разных видов: наземные, морские, космические, стационарные, возимые, носимые, переносные и т. д. Очевидно, что условия эксплуатации всех этих видов ЭС различны. Перед тем как определиться с вопросом о нормировании условий эксплуатации в ТЗ, рассмотрим классификацию факторов, воздействующих на ЭС.

Все воздействующие факторы подразделяются на объективные, определяемые средой, и субъективные, определяемые обслуживанием системы человеком (рис. 2.5).

Субъективные факторы. Основными *субъективными факторами*, воздействующими на ЭС, являются *квалификация обслуживающего персонала, условия работы операторов и условия транспортирования и хранения ЭС*. Несмотря на специальную защиту от неквалифицированного персонала (защита от «дурака») и жесткий регламент действий, выход ЭС из строя по вине операторов достигает 30 % от общего числа отказов ЭС.

Объективные факторы можно разбить на две большие группы – *внутренние* (рис. 2.6) и *внешние* (рис. 2.7). Первые обусловлены воздействиями внешней среды, объектом установки и пр., вторые проявляются вследствие эксплуатации ЭС, как правило, в виде постепенных отказов, когда выходные параметры выходят из поля допусков (так как нагруженный тепловой режим или механические нагрузки резко снижают надежность элементов).

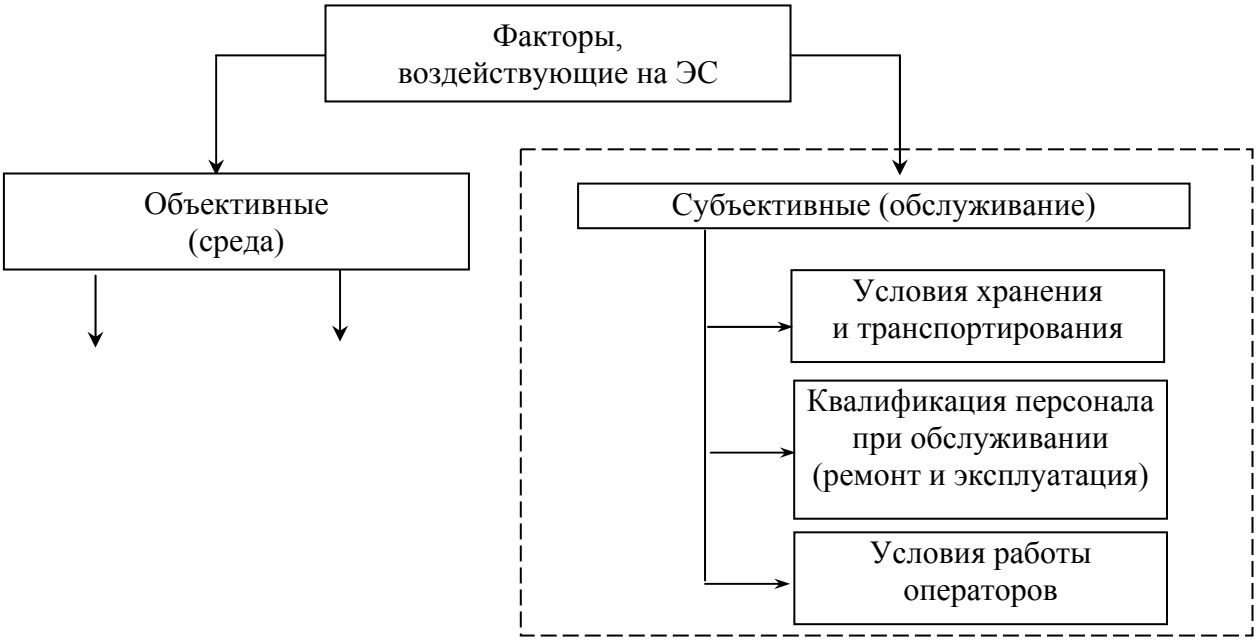


Рис. 2.5. Классификация факторов, воздействующих на ЭС

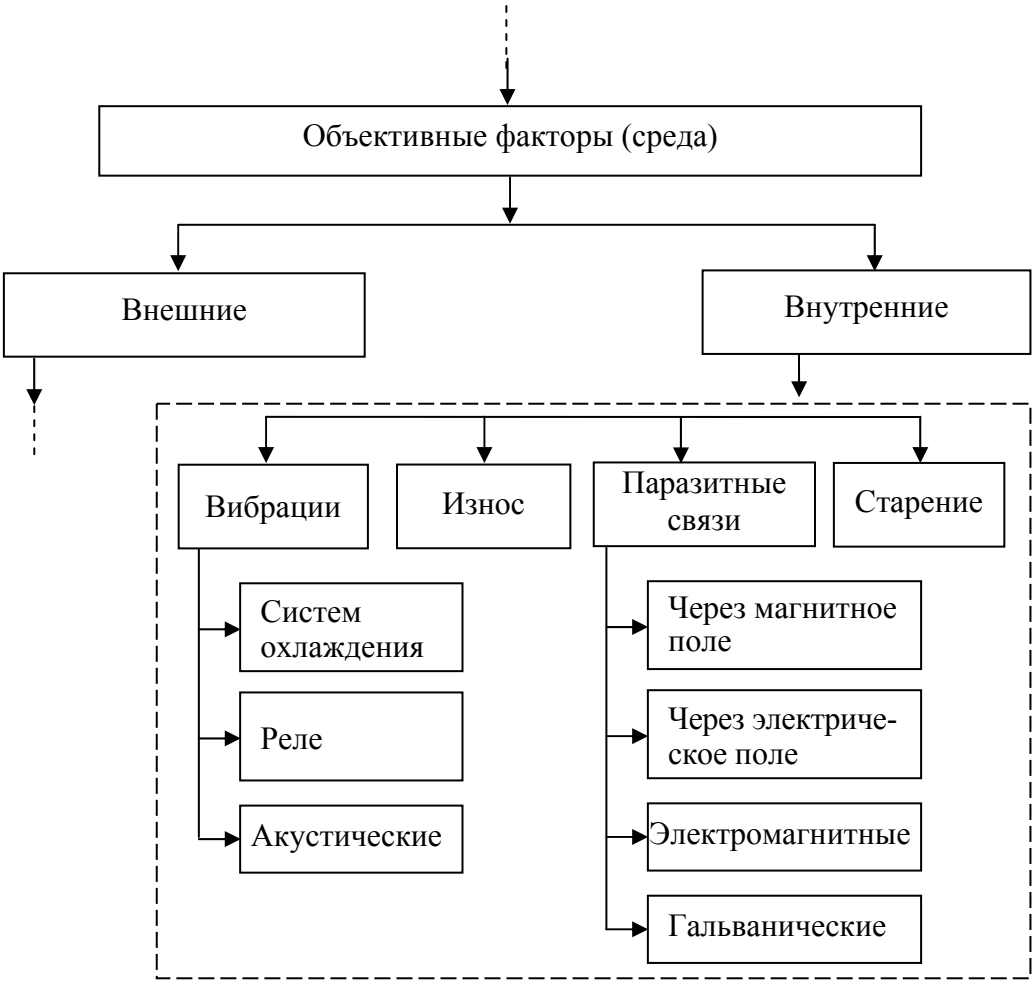


Рис. 2.6. Внутренние факторы, воздействующие на ЭС

Недопустимые паразитные связи определяются в основном сразу при проектировании изделия, ибо они обусловлены его конструкцией. Однако их влияние может проявиться и в случае изменения внешних энергетических факторов: изменение условий электропитания, работа в сильных электрических (появление статических зарядов), магнитных (намагничивание материалов), электромагнитных полях. Вредное влияние гальванической связи может стать следствием изменения параметров электрорадиоэлементов (усыхание электролитических конденсаторов, увеличение сопротивления резисторов фильтрующих цепей и т. д.).

Износ проявляется вследствие механического воздействия одних деталей на другие (зубчатые и другие передачи, валы и оси, переключатели, тумблеры, реле).

Старение обусловлено в первую очередь физико-химическими свойствами применяемых материалов и покрытий. Кроме этого на старение влияют условия применения ЭС на объекте. Тепло, например, приводит к более быстрому старению полимерных материалов. Многие материалы обладают текучестью и со временем изменяют форму. Такие показатели, как предел прочности на изгиб, предел прочности на сжатие и т. д., в течение эксплуатации изменяются и, как правило, ухудшаются.

Механические воздействия как результат работы составных частей изделия (системы охлаждения, реле, двигатели, управляющие механизмы, акустические системы) проявляются в основном в виде вибрационных воздействий. Их негативное влияние может проявляться непосредственно на ЭС – это нестабильный контакт переключателей и регулирующих элементов, «дробовой» эффект у электронных ламп, а также ложные срабатывания механических реле. Опосредованно их влияние может проявляться вследствие непрерывных (или длительных) акустических воздействий на оператора.

Внешние объективные факторы (рис. 2.7) можно разбить на три группы: воздействия окружающей среды – биологические, климатические воздействия, а также воздействия радиоактивности и ионизации воздуха; условия транспортирования и хранения в части механических и климатических воздействий; эксплуатационные воздействия.

Биологические факторы. К таковым факторам, воздействующим на ЭС, относят плесневые грибки, грызунов и насекомых.

Плесневые грибки – важнейшая группа факторов. Основа размножения плесневых грибков – высокая влажность (80–100 %), наличие естественных или искусственных высокомолекулярных соединений для питания и малая освещенность помещения. Изоляционные материалы на основе целлюлозы при воздействии плесневых грибков ухудшают свои механические и электроизоляционные параметры и могут даже разрушаться.

Грызуны могут повредить изоляцию электрических кабелей, проводников и пр. Следует учитывать тот факт, что на подобные действия грызунов могут провоцировать электромагнитные воздействия в определенном диапазоне частот.

Насекомые редко повреждают ЭС. Наиболее опасны для ЭС, работающих в тропических условиях, термиты. Они поедают преимущественно дре-

весину и поэтому опасны для приборов, имеющих деревянные детали и пластмассы с древесным наполнителем. Опасность для ЭС представляют и летающие насекомые.

Рис. 2.7. Объективные факторы окружающей среды, воздействующие на ЭС

Ионизирующие излучения (ИИ). Согласно ГОСТ 15484 к ним относятся любые излучения, взаимодействие которых со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Воздействие ИИ на изделие про-

является в виде радиационного и ионизационного эффектов, обратимых и необратимых дефектов и т. д.

Радиационный эффект – изменение значений параметров изделий и материалов в результате воздействия ИИ.

Ионизационный эффект – радиационный эффект, обусловленный ионизацией и возбуждением атомов вещества.

Радиационный дефект – радиационный эффект, проявляющийся в нарушении структуры вещества под воздействием ИИ.

Наиболее устойчивы к воздействию ИИ металлы. Гамма-излучение на свойства металлов практически не влияет. При воздействии нейтронного излучения предел текучести возрастает примерно в 2–3 раза, ударная вязкость снижается.

Наименьшей радиационной стойкостью обладают электротехнические стали и магнитные материалы.

Бор, марганец, кобальт, свинец, цинк и другие материалы после облучения тепловыми нейтронами становятся источниками вторичного излучения.

Наименее устойчивы к воздействию ИИ полупроводниковые и органические материалы. У полупроводниковых материалов при облучении изменяются время жизни и подвижность носителей заряда, коэффициент Холла и другие параметры, у органических – механические свойства, электрическая прочность.

Неорганические материалы более устойчивы к ИИ, однако у стекол, например, изменяются оптические свойства и цвет.

Климат определяет наибольшее число воздействующих факторов. Причем такие из них, как температура, влажность и давление, могут проявляться как на открытом воздухе, так и внутри помещений.

Рассмотрим подробнее основные климатические факторы, воздействующие на ЭС.

Сухое тепло и сухой холод. Некоторые сплавы склонны к холодной хрупкости. Термореактивные изоляционные материалы сохраняют свою форму до момента разрушения из-за термохимической цепной реакции разложения. Термопластичные изоляционные материалы при температурной перегрузке сначала становятся эластичными и текучими и только после этого разрушаются. Термочувствительны и многие резины. Смазочные материалы при низкой температуре увеличивают свою вязкость и могут совсем застыть. При высокой температуре вязкость смазки уменьшается и смазка может совсем испариться. Изменение температуры деталей, особенно сложной формы и выполненных из разнородных материалов, может быть причиной значительных механических напряжений и даже разрушений (гальванические или лакокрасочные покрытия, слой глазури и т. п.).

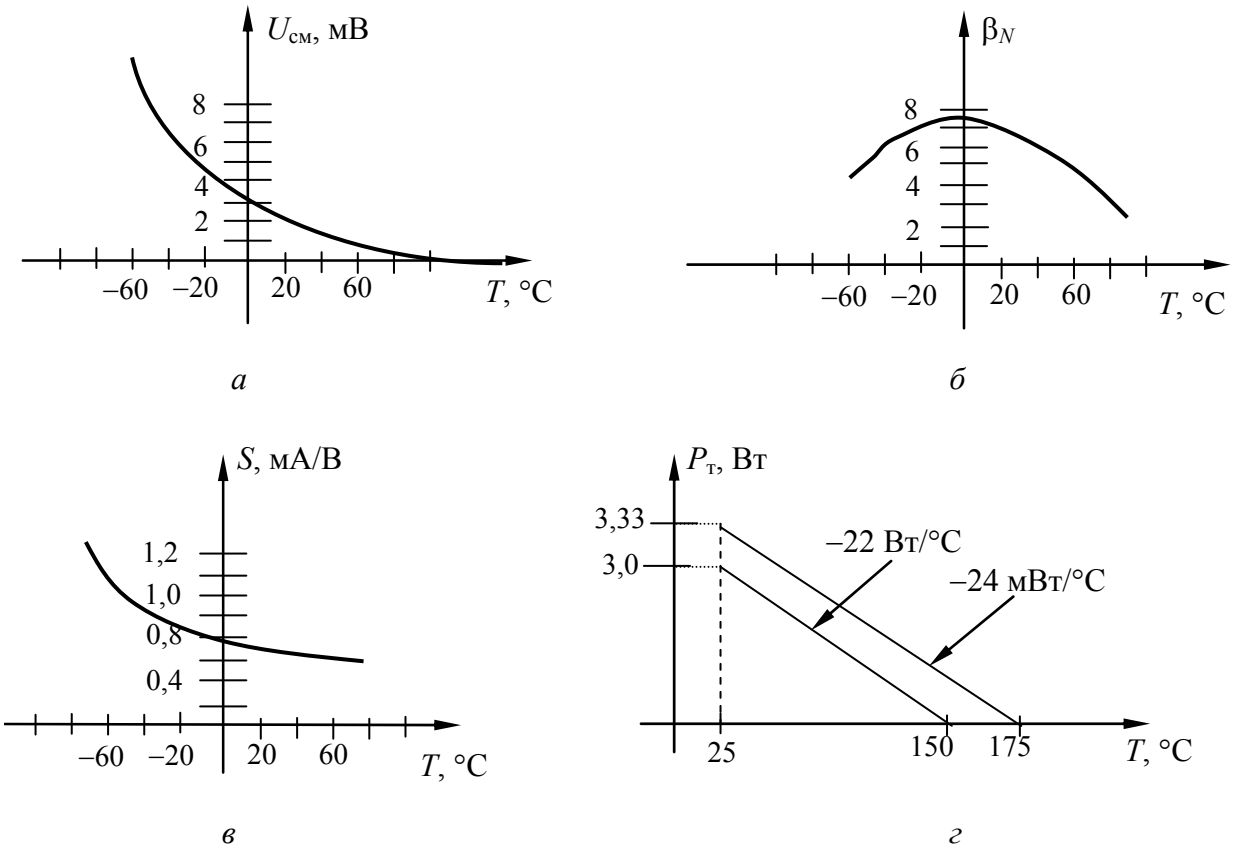


Рис. 2.8. Зависимости параметров электрорадиоэлементов от температуры: *а* – напряжения смещения $U_{см}$ ИМС ОУ 740 УД 4-2; *б* – коэффициента усиления β_N биполярного транзистора 2Т625А-2; *в* – крутизны *S* полевого транзистора КП101Д; *г* – мощности рассеяния $P_т$ арсенид-галлиевого полевого транзистора LP1500 фирмы Filtronic при различных тепловых сопротивлениях (проводимостях) кристалл – корпус

На рис. 2.8 приведены зависимости параметров различных ЭРЭ (в том числе и зарубежных) от температуры. Из рис. 2.8, *г* видно, что чем меньше мощность рассеяния, тем больше допустимая температура. Обычно при проектировании СВЧ-транзисторов необходимо знать входную и выходную мощность на транзисторе и мощность по питанию (зависит от напряжения питания). При большой мощности рассеяния допустимая температура уменьшается, поэтому актуальной задачей является оптимальное конструирование теплоотводящих элементов конструкции (в частности, радиаторов), так как необходимо обеспечить температуру на корпусе транзистора не выше допустимой при определенной мощности рассеяния.

Микроминиатюризация ЭС способствует значительному снижению потребления энергии от источников питания. Однако уменьшение габаритов ЭС в конечном счете ведет к росту отношения выделяемой тепловой энергии к энергии, рассеиваемой в окружающее пространство. Поэтому проблема обеспечения тепловых режимов в современных ЭС не утрачивает своей актуальности. Напротив, допустимый нагрев элементов конструкции ЭС становится одним из основных ограничивающих факторов на пути дальнейшего улучшения массогабаритных характеристик ЭС.

Наличие тепловыделяющих элементов в составе конструкций ЭС в сочетании с широким диапазоном температур окружающей среды приводит к появлению паразитного теплового фактора, оказывающего существенное влияние на механические процессы, в том числе вследствие появления температурных напряжений. При этом от температуры зависят такие физико-механические параметры, как модуль упругости, коэффициент механических потерь или логарифмический декремент затухания колебаний (ЛДЗК).

Воздействие влаги на металлы и изоляционные материалы имеет разную природу, но одинаковый конечный результат – разрушение исходной структуры материала. В металлах это происходит вследствие коррозии, в изоляционных материалах – вследствие влагопоглощения. Термодинамической причиной коррозии является переход корродирующего металла из менее стабильного состояния, в котором он используется в конструкции ЭС, в более стабильное первоначальное состояние, из которого он был получен (в виде окислов, сульфидов, карбонатов и т. п.). На скорость коррозии влияют: концентрационная поляризация, перенапряжение и пассивность металлов.

Давление. При эксплуатации ЭС как на нормальной высоте над уровнем моря (до 1000 м), так и с подъемом на высоту может происходить изменение атмосферного давления, и его влияние на изделие необходимо учитывать ввиду следующих причин:

во-первых, для герметичных аппаратов следует рассчитывать механическую прочность на растяжение или сжатие при перепадах давления и соответственно выбирать конструкцию герметизирующего соединения;

во-вторых, с уменьшением давления и, соответственно, уменьшением плотности воздуха увеличиваются фактические превышения температуры всех видов изделий, выделяющих при работе тепло и полностью или частично охлаждаемых свободной или принудительной конвекцией воздуха. Следовательно, при проектировании изделий допустимые превышения температуры (перегревы) должны быть понижены на величину, соответствующую поправке на высоту;

в-третьих, если давление не превышает 10 мм рт. ст., то из дальнейшего рассмотрения можно исключить конвективные способы отвода тепла для негерметичного ЭС;

в-четвертых, с уменьшением давления (рост высоты над уровнем моря) происходит снижение электрической прочности воздуха и уменьшение значений пробивных напряжений изоляции изделий.

Песок и пыль. Максимальная опасность – не относительно крупные частицы пыли и песка (у них меньше острых граней), а мелкие, взвешенные в атмосфере, с величиной зерна 1–40 мкм. Результаты их воздействия в подшипниках и механизмах – падение точности, заедания; в зазорах с контактами – препятствие нормальной работе реле и переключателей; на поверхности изоляционных деталей – паразитная проводимость (из-за гигроскопичности); на поверхности металлических деталей – увеличение скорости коррозии. В

тропических условиях пыль может быть питательной средой для плесневых микроорганизмов. Вследствие высокого содержания кварца пыль в пустыне более твердая и абразивная. При значительной запыленности, повышенной температуре пыли, наличии кислорода и источника энергии пыль взрывается, что может быть причиной разрушений ЭС.

Солнечная радиация (РС). Различают две группы воздействия РС: фотолитическое и фотоокислительное (перегрев). Фотолитическое характеризуется избирательным поглощением солнечных лучей в полосах поглощения. Воздействие фотонов приводит к отрыву фотоэлектронов и разрыву молекулярных связей. Следствием этого является изменение цвета ряда полимерных материалов, хрупкость и потеря прочности, нарушение лакокрасочных покрытий.

Суть фотоокислительного воздействия РС – разрыв химических связей при одновременном воздействии излучения, кислорода воздуха и влаги. Результат – усиленная коррозия (особенно в условиях тропического климата). Перегрев ЭС до 25–30 К происходит вследствие: непосредственного излучения Солнца; излучения, рассеянного и отраженного атмосферой; нахождения в теплых слоях воздуха; излучения от грунта, теплопроводности воздуха и грунта.

Специфическим видом воздействий, которым подвергаются ЭС и их материалы, являются СВЧ-излучения. В электромагнитном поле СВЧ ряд определяющих свойств материалов существенно изменяется: вследствие поверхностного эффекта уменьшается проводимость металлов и сплавов; вследствие поляризации изменяется диэлектрическая проницаемость и увеличиваются потери в диэлектриках; вследствие гиромагнитного эффекта изменяется магнитная проницаемость ферритов.

Структура эксплуатационных факторов приведена на рис. 2.9.

Режим работы. Исходя из назначения ЭС, режим работы может быть определен следующим образом: круглосуточный, периодический, ждущий. Этот фактор, в данном контексте, определяет нагруженность применяемых ЭРЭ и в конечном итоге требования к надежности составных частей ЭС.

Особенности применения. Электронное средство может работать в дневное или ночное время. Это определяет в первую очередь температурные воздействия. Например, для континентального климата и высокогорных районов характерна очень большая разница между дневными и ночными температурами.

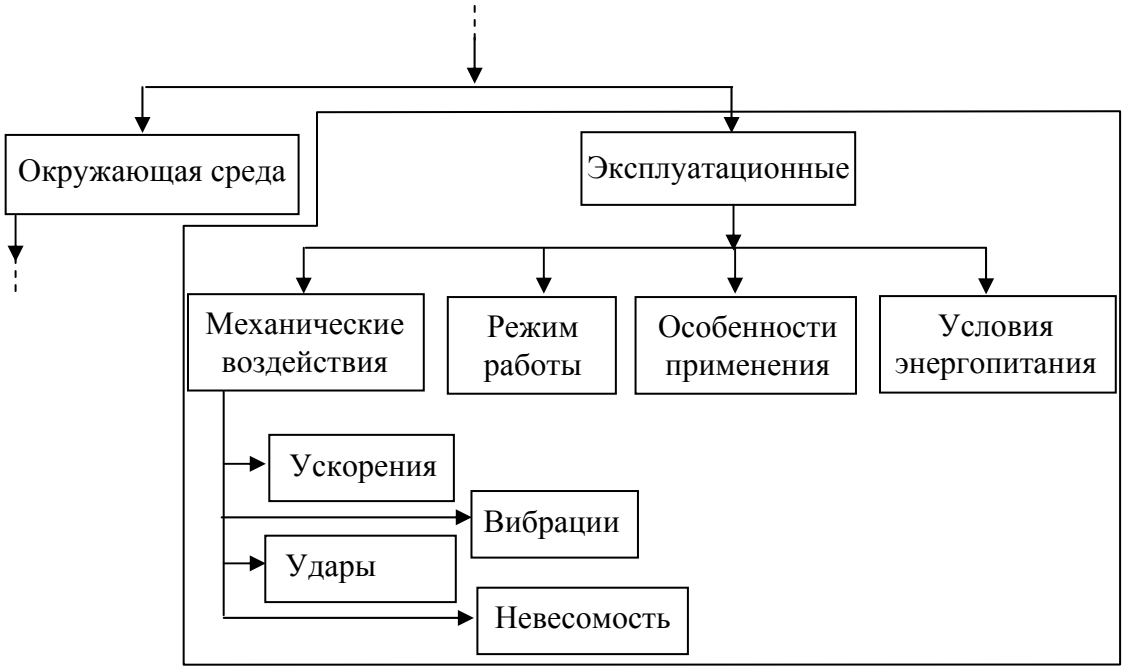


Рис. 2.9. Внешние объективные эксплуатационные факторы, воздействующие на ЭС

Кроме этого может изменяться освещенность объекта ЭС. Различают дневное, ночное и сумеречное освещение. Этот фактор влияет на выбор типа маркировки, необходимость подсветки органов управления и т. п.

Условия энергопитания. Различают два вида энергопитания: автономное и от первичных электросетей. В первом случае источниками энергии служат аккумуляторы, батареи (гальванические, солнечные и пр.). При питании от электрических сетей в аппаратуру, как правило, встраиваются вторичные источники питания (ВИП). Последнее увеличивает массу, объем изделия, а также тепловыделение.

Механические воздействия наблюдаются практически для любой аппаратуры независимо от объекта установки.

Обычно различают четыре вида механических воздействий:

- ускорения;
- вибрации;
- удары;
- невесомость.

Ускорения проявляются в виде однонаправленной, относительно долговременной, статической нагрузки.

Вибрация представляет собой знакопеременные нагрузки, обусловленные в первую очередь движущимся объектом установки ЭС (автомобиль, корабль, самолет и др.).

Как отдельный вид вибрационных воздействий в настоящее время выделяют акустические воздействия. Основное отличие акустической от механической вибрации состоит в том, что передача возмущающего воздействия

происходит не через элементы несущей конструкции, а через акустическую (воздействующую) среду.

Удары обусловлены быстрым изменением ускорения и различаются по степени жесткости. При равных значениях ускорений они менее опасны, чем вибрационные воздействия.

Невесомость как механический воздействующий фактор чаще всего проявляется в космических аппаратах – отсутствием реакции опоры.

Лекция 6

П л а н л е к ц и и

2.9. Нормирование условий эксплуатации:
- нормальные значения воздействующих факторов;
- макроклиматические зоны;
- категории исполнения ЭС;
- нормирование для аппаратуры радиосвязи;
- нормирование для бытовой аппаратуры.

Контрольные вопросы.

Л и т е р а т у р а: [15, 21, 40, 41, 42].

2.9. Нормирование условий эксплуатации

Нормальные значения воздействующих факторов. Каждое из климатических и механических воздействий, рассмотренных в предыдущей лекции, можно задавать в виде конкретных значений параметров. Например, за нормальные значения климатических факторов внешней среды принимают следующие:

- температура 25+10 °С;
- относительная влажность воздуха 45–80 %;
- атмосферное давление 64,0–106,7 кПа (630–800 мм рт. ст.).

Как видно из приведенного примера, каждый параметр характеризуется не одним значением, а интервалом значений. Поэтому обычно ЭС, с точки зрения внешних воздействий, объединяются в группы, для которых количество внешних параметров и интервалы значений одинаковы.

Рассмотрим, что является критерием для такого объединения.

Макроклиматические зоны. Климатические воздействия на наземное ЭС определяются в первую очередь климатом в той или иной области, наличием морей и т. п. Поэтому оказалось целесообразным объединить ЭС в группы по климатическому исполнению.

В соответствии с ГОСТ 15150 выделены *макроклиматические зоны*, характеризующиеся следующими климатами:

- холодный – исполнение ХЛ;
- умеренный – исполнение У;
- умеренно-холодный – исполнение УХЛ;
- тропический сухой – исполнение ТС;
- тропический влажный – исполнение ТВ;
- морской – исполнение М.

Аппаратура, предназначенная для работы как в тропическом сухом, так в тропическом влажном климатах, изготавливается в тропическом исполнении – Т.

Аппаратура, предназначенная для работы в холодном, умеренном, умеренно-холодном и тропическом климатах, изготавливается в общеклиматическом исполнении – О.

Аппаратура, предназначенная для работы в тропическом и морском климатах, изготавливается в исполнении ТМ.

Аппаратура, предназначенная для работы в холодном, умеренном, умеренно-холодном, тропическом и морском климатах, изготавливается в исполнении ОМ.

Аппаратура, предназначенная для работы в любом климате, изготавливается во всеклиматическом исполнении – В.

Параметры всех климатических воздействий, определяемые макроклиматическим районом, корректно можно учитывать только для ограниченного числа ЭС, а именно для ЭС, работающих на открытом воздухе. Очевидно, что объект установки, например жилое помещение, изменяет параметры климатических воздействий.

Категории исполнения ЭС. Для учета этих изменений введено понятие «категория исполнения». В соответствии с ГОСТ 15150 определено пять категорий исполнения ЭС (табл. 2.2).

Каждое климатическое исполнение с учетом категории исполнения характеризуется конкретными воздействующими факторами: температурой (табл. 2.3), влажностью (табл. 2.4), давлением, влиянием дождя, пыли и т. д.

Такой климатический фактор, как давление, может меняться для ЭС с подъемом на высоту. Поэтому для аппаратуры, устанавливаемой на летательных аппаратах, задается группа (табл. 2.5), определяющая величину давления, при которой ЭС должны работать.

Таблица 2.2

Характеристика категорий исполнения ЭС

Укрупненная категория	Обозначение	Дополнительная категория	Обозначение
Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района)	1	Для работы и эксплуатационного хранения в помещениях категории 4 и для кратковременной работы в других условиях	1.1
Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется доступ наружного воздуха (кузова, навесы), а также в изделии категории 1	2	Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категорий 1; 1,1; 2, конструкция которых исключает возможность конденсации влаги на встроенных элементах (например, внутри радиоэлектронной аппаратуры)	2.1
Для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий (например, в металлических с теплоизоляцией, каменных и подобных помещениях)	3	Для эксплуатации в нерегулярно отапливаемых помещениях	3.1
Для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помещениях)	4	Для эксплуатации в помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом	4.1
		Для эксплуатации в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях	4.2
Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в подвалах, судовых, корабельных помещениях, в которых возможно длительное наличие воды)	5	Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категории 5, при условии отсутствия на них конденсации влаги	5.1

Таблица 2.3

Значения рабочих температур воздуха для умеренного климатического исполнения ЭС

Исполнение изделия	Категории изделий	Температура воздуха, °С	
		верхняя	нижняя
У	1; 1.1; 2; 2.1; 3	40	–45
	3.1	40	–40
	5; 5.1	35	–5

Таблица 2.4

Значения влажности для умеренного и холодного климатических исполнений ЭС

Исполнение изделий	Категории изделий	Относительная влажность при 25 °С, %	Абсолютная влажность, г/м^3
У, УХЛ (ХЛ)	1; 2; 5 1.1; 2.1; 3; 3.1 5.1	100 98 98	11 10 11

Таблица 2.5

Группа исполнения ЭС, устанавливаемых на летательные аппараты

Группа	Давление, кПа (мм рт. ст.)	Высота, тыс. м	Группа	Давление, кПа (мм рт. ст.)	Высота, тыс. м
а	70,0 (525)	2,4	и	$1{,}3 \cdot 10^{-1}$ (1,0)	45,8
б	60,0 (450)	3,5	к	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	63,6
в	53,3 (400)	4,3	л	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	94,7
г	26,7 (200)	9,4	м	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	200,0
д	12,0 (90)	14,4	н	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	Космос
е	4,4 (33)	20,0	о	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	Космос
ж	2,0 (15)	26,0	п	$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ (10^{-1})	Космос
з	0,6 (5)	34,0			

Как было показано в предыдущей лекции, объект установки ЭС определяет и механические воздействия на них. По этим параметрам воздействия ЭС можно также сгруппировать, например, в стационарную, возимую и другие группы. Несмотря на то что, скажем, основным определяющим фактором при этом будет тип транспорта (колесный, гусеничный и т. д.), объединение в группы механических воздействий обусловлено и назначением ЭС.

Нормирование для аппаратуры связи. Для аппаратуры связи (ГОСТ 16019) установлено семь групп, отличающихся объектом установки и, соответственно, параметрами внешних воздействий:

С1 – стационарные, работающие в отапливаемых сооружениях;

С2 – стационарные, работающие на открытом воздухе или в неотапливаемых подземных сооружениях;

В3 – возимые, установленные в автомобилях, мотоциклах, в сельскохозяйственной и другой технике и работающие на ходу;

В4 – возимые, установленные во внутренних помещениях речных судов и работающие на ходу;

В5 – возимые, установленные в подвижных железнодорожных объектах и работающие на ходу;

Н6 – носимые и портативные, предназначенные для длительной переноски на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных или подземных сооружениях, работающие и неработающие на ходу;

Н7 – портативные, предназначенные для длительной переноски на открытом воздухе при облегченных внешних воздействиях или в отапливаемых наземных и подземных сооружениях и работающие на ходу.

Из механических параметров (ГОСТ 16019) обычно выделяют прочность и устойчивость к механическим ударам и вибрациям, а также воздействие линейных ускорений. Понятно, что прочность задается для стационарной ЭС, а устойчивость – для возимой (см. табл. 2.6, табл. 2.7).

Нормирование для бытовой аппаратуры. В отличие от аппаратуры связи бытовая аппаратура по условиям эксплуатации (ГОСТ 11478) подразделяется на четыре группы (табл. 2.8).

Для сравнения приведем нормы климатических и механических воздействий для бытовой ЭС группы II (табл. 2.9).

Таблица 2.6

Нормы климатических и механических воздействий для стационарной аппаратуры групп С1 и С2

Параметры	Группа С1	Группа С2
Прочность при синусоидальных вибрациях: частота f, Гц амплитуда a, м/с²	 20 19,6	
Обнаружение резонансов в конструкции: диапазон частот f, Гц амплитуда, мм	 10–30 0,5–0,8	
Воздействие повышенной влажности: относительная влажность, % температура, °С	 80 25	 93 35
Воздействие температуры: пониженной, °С повышенной, °С	 –40 55	 –40 60
Воздействие пониженного атмосферного давления p, кПа	61	
Воздействие инея и росы при 0 °С	Нет	Есть
Воздействие дождя	Нет	Есть
Прочность при транспортировании: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота повторения f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 5–10 40–80 49–245	
Воздействие соляного (морского) тумана	Есть	Нет
Воздействие воздушно-пылевого потока: скорость v, м/с, более	 –	 10

Таблица 2.7

Нормы климатических и механических воздействий для возимой аппаратуры групп В3 и В5

Параметры	Группы В3 и В5
Прочность при синусоидальных вибрациях: частота f, Гц амплитуда a, м/с^2	 20 19,6
Обнаружение резонансов в конструкции: диапазон частот f, Гц амплитуда, мм	 10–30 0,5–0,8
Устойчивость к синусоидальным вибрациям: диапазон частот f, Гц амплитуда a, м/с^2	 10–70 9,8–37
Устойчивость к механическим ударам: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 5–10 40–80 147
Прочность при механических ударах: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2: 3-я группа 5-я группа	 5–10 40–80 147 245
Воздействие повышенной влажности: относительная влажность, % температура, °С	 93 40
Воздействие температуры: пониженной, °С повышенной, °С	 – 40 60
Устойчивость к перепадам температур: диапазон температур, °С время изменения температуры, ч	 От – 50 до 60 2–6
Воздействие пониженного атмосферного давления p, кПа	61
Воздействие инея и росы при 0 °С	Есть
Воздействие дождя и соляного (морского) тумана	Есть
Воздействие воздушно-пылевого потока: скорость v, м/с, более	 10
Прочность при транспортировании: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 5–10 40–80 49–245

Таблица 2.8

Группы бытовой ЭС

Группа аппаратуры	Условия эксплуатации	Категория исполнения по ГОСТ 15150
I	В жилых помещениях	4.2
II	В транспортных средствах (встроенная)	2.1
III	На открытом воздухе, не рассчитанная для работы в условиях движения	1.1
IV	На открытом воздухе, в том числе в условиях движения (на ходу, в салоне автомобиля, катера и т. д.)	

Таблица 2.9

Нормы климатических и механических воздействий для бытовой ЭС группы II

Параметры	Группа II
Отсутствие резонансов: диапазон частот f, Гц амплитуда, мм	 10–55 0,15
Устойчивость к синусоидальным вибрациям: диапазон частот f, Гц амплитуда a, м/с^2	 10–150 19,6
Прочность при синусоидальных вибрациях: диапазон частот f, Гц амплитуда a, м/с^2	 10–150 19,6
Прочность при механических ударах: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 16 60–120 98
Устойчивость к механическим ударам: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 16 60–120 98
Прочность при транспортировании: длительность ударного импульса $t_и$, мс частота следования f, мин$^{-1}$ амплитуда a, м/с^2	 11 60–120 147
Воздействие температуры: пониженной, °С повышенной, °С	 – 40 55
Воздействие пониженного атмосферного давления p, кПа (мм рт. ст.)	70 (525)
Воздействие воздушно-пылевого потока: скорость v, м/с	 0,5–1
Воздействие соляного (морского) тумана	Нет

Кроме того, учитывая особенности применения бытовой аппаратуры, а именно неподготовленный пользователь, широкий возрастной круг пользователей и т. п., для всех групп бытовой ЭС задается прочность при падении с высоты *h*, определяемой массой изделия:

до 2 кг включительно – 1000 мм;

свыше 2 до 5 кг включительно – 500 мм;

свыше 5 до 10 кг включительно – 250 мм;

свыше 10 до 50 кг включительно – 100 мм;

свыше 50 кг – 50 мм.

Аналогично, для изделий измерительной техники, ЭВС, медицинской аппаратуры и других ЭС внешние воздействия задаются не в виде конкретных значений для каждого параметра, а укрупненными категориями. При этом количество параметров для каждой группы может быть разным.

Распределение внешних воздействий по некоторым эксплуатационным группам позволяет пользователю более просто определить пригодность применения той или иной аппаратуры.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают ограничения при конструкторском проектировании?
2. Какая информация может являться исходными данными для разработки ЭС?
3. Перечислите разделы, входящие в состав технического задания на проектирование ЭС?
4. Может ли корректироваться техническое задание в процессе разработки ЭС?
5. Какие факторы, воздействующие на ЭС, являются субъективными? Приведите примеры.
6. Какие факторы входят в группу внешних объективных воздействий? Приведите примеры влияния данных факторов на конструкцию ЭС.
7. Для чего необходимо нормирование условий эксплуатации?
8. Какие критерии выбираются для формирования групп по условиям эксплуатации?
9. Чем обусловлено введение нормируемого параметра – падение высоты для бытовой РЭС?

3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лекция 7

П л а н л е к ц и и

3.1. Цели и формы стандартизации.
3.2. Уровни стандартов.
3.3. Системы стандартов.
3.4. Основные положения ЕСКД:
виды изделий;
комплектность КД.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [38, 43, 44].

С различными аспектами стандартизации человек сталкивается постоянно. Например, при покупке стационарно-бытовой ЭС пользователь не должен задумываться о том, подойдет ли вилка для подключения в сеть 220 В к установленным в квартире розеткам. Такой вопрос не должен стоять перед пользователем и при замене в портативной ЭС источников питания – аккумуляторов и батарей. Конечно, назначение и потребляемая мощность портативной аппаратуры требует применения различных автономных источников питания, отличных, например, максимальным током, емкостью, напряжением и т. д., но количество типоразмеров этих источников должно быть ограничено.

Аналогичный пример можно привести с ПЭВМ. Поскольку для этого класса ЭВС в последнее время характерно быстрое развитие, то необходим частый «апгрейд». Фирм, производящих узлы ПЭВМ (корпуса, материнские платы и т. д.) и комплектующие (звуковые и видеокарты и т. д.), достаточно много, однако в большинстве случаев замена морально устаревших элементов оборудования происходит без проблем.

Рис. 3.1. Дискеты различных фирм-производителей

Рис. 3.2. Оптические диски CD-RW разных размеров

Другой пример. Количество мобильных носителей информации ограничено. Наиболее часто применяются магнитные дискеты 3,5" (рис. 3.1) и оптические диски 3,5" или 5,25" (рис. 3.2). При большом числе размеров носителей информации на передней панели корпуса пришлось бы разместить число дисководов, практически равное числу носителей информации.

Правила стандартизации применяются и в оформлении конструкторской документации, т. е. при формализации результатов проектирования. Это стройная система определенных правил, начиная от ограниченного числа форматов конструкторской документации. Оговорены также правила проекционного черчения, расположение, состав и порядок технических требований. При разработке схем электрических используют определенные обозначения электрорадиоизделий – транзисторов, диодов, разъемов, реле и пр.

Конструктор должен понимать, что все его разработки должны соответствовать требованиям стандартизации, т. е. требованиям ГОСТов. Требования ЕСКД к оформлению конструкторской документации являются, по сути, неким «языком», который понятен всем знакомым с ним.

Важным аспектом стандартизации является и то, что при использовании в процессе конструирования средств автоматизации следует помнить о совместимости форматов файлов различных программных продуктов. Так, например, программа-трассировщик печатных плат должна «понимать» формат ранее начерченной принципиальной схемы, а также иметь возможность конвертирования в файлы разных форматов.

Более того, стандарты устанавливают параметрические ряды, требования к качеству, надежности, методам контроля и единство оценки качества изделий.

3.1. Цели и формы стандартизации

Стандартизация – процесс установления и применения правил с целью упорядочения деятельности в данной области на пользу и при участии всех сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии с соблюдением правил техники безопасности. Она основывается на достижениях науки и техники и практического опыта, определяет основу не только настоящего развития, но и будущего.

Результатом стандартизации является стандарт.

Стандарт – нормативно-технический документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации на основе достижений науки и техники и практического опыта.

Стандарты разрабатывают отраслевые министерства и НИИ.

Различают следующие *виды стандартов*:

- документ, содержащий ряд требований, норм, подлежащих выполнению в виде основной единицы или физической константы (А, М, °С, К, Na, число Авогадро и т. д.);
- предмет для физического сравнения (эталон метра, килограмма и т. д.);
- неузаконенные виды стандартов – мода, обычаи, десятичная система счета и т. д.

Цель стандартизации – повышение качества продукции. В связи с этим перед стандартизацией ставятся следующие *задачи*:

- превращение стандартов в средство внедрения новой техники;
- повышение эффективности стандартов для улучшения качества сырья, полуфабрикатов, продукции;
- планирование технического прогресса;
- создание межотраслевых систем стандартов, обеспечивающих оптимальные условия работы.

Решение поставленных задач возможно только при комплексном подходе, который обусловливает наличие следующих форм стандартизации:

- *комплексная стандартизация* – разработка единой системы стандартов на продукцию, полуфабрикаты, сырье и все то, что связано с продукцией (например, коробки, ящики, контейнеры, платформы, грузовики и пр.);
- *опережающая стандартизация.* В стандартах указываются требования к качеству изделия не только на один срок, но и на несколько (минимум на два) сроков и показано, как изменяются требования к качеству продукции;
- *межотраслевые стандарты* (ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП).

3.2. Уровни стандартов

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что для достижения заданного качества продукции необходимо создать системную увязку между следующими группами стандартов, определяющих:

- материальное вхождение (полуфабрикаты, сырье, детали);
- нематериальное вхождение (методы расчета, методы контроля и измерения, процессы труда, пути получения информации);
- технологическое сопровождение (оборудование, инструмент, оснастка).

Исходя из иерархического построения сообщности людей (государство, регион и др.) существует и иерархическое соподчинение стандартов, которые разбиты на следующие уровни:

1. Международный стандарт (ISO, МЭК и др.).
2. Региональный стандарт (например, стандарты стран Общего рынка, ГОСТ).
3. Двухсторонний стандарт (распространяется только на две стороны – страны).
4. Национальный стандарт (действует только в рамках одной страны, например ГОСТ Р).
5. Отраслевой стандарт (ОСТ).
6. Стандарт предприятия (СТП).

В России есть особый вид стандарта между 5 и 6-м уровнями – это республиканский стандарт.

В сфере повышения качества продукции имеют место определенные трудности:

- повышение квалификации работников и неумение в то же время определять качество продукции;
- необходимость роста количества продукции при повышении ее качества;
- необходимость снижения себестоимости при постоянном росте объема или номенклатуры выпускаемой продукции.

В общем случае самое высокое качество продукции, устанавливаемое стандартами, – в Бельгии, самое низкое – в России и США. Это объясняется отсутствием узкой специализации производства.

Составной частью работ по стандартизации является нормализация, которая необходима для облегчения разработки и изготовления изделий. *Нормализация* – некоторые виды работ по стандартизации в машиностроении. Основой нормализации являются ряды чисел, подчиняющиеся определенным закономерностям. Согласно ГОСТ 8032 устанавливается пять рядов предпочтительных чисел со знаменателем прогрессии $\varphi = \sqrt[n]{10}$. Степени n корня приняты равными 5, 10, 20, 40, 80. Эти числа вместе с буквой R составляют обозначение ряда (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Пять рядов предпочтительных чисел со знаменателем прогрессии $\varphi = \sqrt[n]{10}$

Ряды	*R*5	*R*10	*R*20	*R*40	*R*80
φ	$\sqrt[5]{10} \approx 1{,}6$	$\sqrt[10]{10} \approx 1{,}25$	$\sqrt[20]{10} \approx 1{,}12$	$\sqrt[40]{10} \approx 1{,}06$	$\sqrt[80]{10} \approx 1{,}03$

Таблица 3.2

Основные ряды предпочтительных чисел в диапазоне 1–10

*R*5	1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10
*R*10	1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4,6; 5; 6,3; 8; 10
*R*20	1; 1,12; 1,25; 1,4; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4
*R*40	1; 1,06; 1,12; 1,18; 1,25; 1,32; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2
*R*80	1; 1,03; 1,06; 1,08; 1,12; 1,15; 1,18; 1,2; 1,25; 1,28; 1,36; 1,4

Таблица 3.3

Ряд нормальных размеров

R_a80	1; 1,05; 1,1; 1,15; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,4; 2,5 и т. д.

Величина любого члена ряда $a_k = a_0\varphi^k$, где k – порядковый номер числа, a_0 – первый член ряда, которому присвоен нулевой номер.

Основные ряды предпочтительных чисел в диапазоне 1–10 представлены в табл. 3.2. Численные значения всех членов рядов округлены с погрешностью не более ±1 %. Каждый более низкий ряд получается изъятием членов (через один) из ближайшего более высокого ряда.

Из основных рядов получают геометрические ряды для любого диапазона чисел. На базе основных рядов разработаны ряды нормальных линейных размеров (ГОСТ 6636) с несколько большим округлением чисел по сравнению с основными. В отличие от основных ряд нормальных размеров обозначают буквой *R* с индексом *a* (табл. 3.3).

ГОСТ 6636 охватывает линейные размеры в интервале от 0,001 до 10000 мм.

Применение гостированных линейных размеров целесообразно для поверхностей, подвергаемых точной механической обработке, особенно для диаметров посадочных соединений, что способствует нормализации режущего, контрольного и мерительного инструмента.

Применять нормализованные ряды для поверхностей, не нуждающихся в точной координации (для осевых размеров и размеров необрабатываемых поверхностей при литье и штамповке), нерационально. В таких случаях даже частичная нормализация для размеров, не давая никаких реальных преимуществ, только усложняет процесс проектирования и изготовления изделия.

3.3. Системы стандартов

В настоящее время в России созданы следующие системы стандартов:

1. Система государственной стандартизации и нормативно-технических документов.
2. Единая система конструкторской документации (ЕСКД).
3. Единая система технологической документации (ЕСТД).
4. Система показателей качества продукции.
5. Стандарты на аттестационную продукцию.
6. Унифицированные системы документации (УДК).
7. Система информационно-библиографической документации.
8. Государственная система единства измерений (ГСИ).
9. Единая система защиты от коррозии и старения материалов (ЕСЗКС).
10. Стандарты на товары, поставляемые на экспорт.
11. Прикладная.
12. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
13. Микрофильмирование.
14. Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП).
15. Разработка и постановка продукции на производство.
16. Управление техпроцессами и др.

Например, ГОСТ 12.2.007. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

3.4. Основные положения ЕСКД

Виды изделий. *ЕСКД* – комплекс государственных стандартов, устанавливающих порядок разработки, оформления и обращения КД.

Стандарты ЕСКД распространяются на все виды КД и документацию по хранению, внесению изменений в КД, нормативно-техническую документацию, а также на научно-техническую и учебную литературу, в которой они могут быть применены.

Стандарты в ЕСКД распределяются по классификационным группам, представленным в табл. 3.4.

ГОСТ 2.101 устанавливает виды изделий. *Изделием* называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащие изготовлению на производстве.

К *изделиям основного производства* относят изделия, предназначенные для поставки (иначе говоря, для реализации), к *изделиям вспомогательного производства* – изделия, предназначенные только для собственных нужд предприятия-изготовителя.

Таблица 3.4

Классификационные группы стандартов в ЕСКД

Шифр группы	Содержание стандартов в группе	Номера стандартов
0	Общие положения	2.000–2.099
1	Основные положения	2.101–2.199
2	Классификация и обозначение изделий в конструкторской документации	2.201–2.999
3	Общие правила выполнения чертежей	2.301–2.399
4	Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения	2.401–2.499
5	Правила обращения КД (учет, хранение и т. д.)	2.501–2.599
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации	2.601–2.699
7	Правила выполнения схем и условные графические обозначения, используемые в схемах	2.701–2.799
8	Правила выполнения строительной и судостроительной документации	2.801–2.899
9	Прочие стандарты (разные правила оформления КД)	2.901–2.999

Устанавливаются следующие виды изделий:

- детали;
- сборочные единицы;
- комплекты;
- комплексы.

Из указанных только деталь, или неспецифицируемое изделие, не имеет составных частей. Изделия, состоящие из двух или более частей, являются специфицируемыми.

Комплектность КД. ГОСТ 2.102 устанавливает виды и комплектность КД на изделия всех отраслей промышленности.

Документы в зависимости от стадии разработки изделия подразделяются на проектные (техническое предложение, эскизный проект, технический проект) и рабочие (рабочая документация).

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

Основные виды конструкторских документов приведены в табл. 3.5.

Классификация конструкторских документов в зависимости от способа их выполнения и характера использования представлена в табл. 3.6.

При определении комплектности КД на изделие различают:

- основной конструкторский документ;
- основной комплект КД;
- полный комплект КД.

Основной конструкторский документ изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем конструкторскими документами, полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав.

За основной конструкторский документ принимают:

- для детали – чертеж детали;
- для сборочных единиц, комплексов, комплектов – спецификацию.

Таблица 3.5

Основные виды конструкторских документов

Вид документа	Содержание документа	Шифр
Чертеж детали	Изображение детали и данные для ее изготовления и контроля	
Сборочный чертеж	Изображение изделия и другие данные для его сборки и контроля	СБ
Чертеж общего вида	Представление о конструкции изделия, взаимодействии его составных частей и принцип работы	ВО
Теоретический чертеж	Геометрическая форма изделия и координаты расположения его составных частей	ТЧ
Габаритный чертеж	Контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, присоединительными и установочными размерами	ГЧ
Монтажный чертеж	Контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные для его монтажа	МЧ
Электромонтажный чертеж	Контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные для его электрического монтажа	МЭ
Схема	Условное изображение или обозначение составных частей изделия и связей между ними	ГОСТ 2.701, 2.702
Перечень элементов	Состав сборочной единицы, комплекса или комплекта	ПЭ
Техническое задание	Требования, которым должна отвечать конструкция ЭС в соответствии с определяемыми ее назначением, областью применения, условиями эксплуатации, типом производства, ограничениями, связанными с условиями эксплуатации, обслуживанием, производством ЭС, принципами функционирования, а также сроками проектирования	ТЗ
Пояснительная записка	Описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений	ПЗ
Технические условия	Потребительские (эксплуатационные) показатели изделия и методы контроля его качества	ТУ
Программа и методика испытаний	Технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок их контроля	ПИ
Таблица	Совокупность сведений об изделии, представленных в таблице	Т
Расчеты	Расчет параметров и величин (например, расчет на прочность, расчет размерных цепей, расчет уровня стандартизации и унификации)	РР

Таблица 3.6

Классификация КД в зависимости от способа их выполнения и характера использования

Наименование документа	Определение
Оригиналы	Документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников
Подлинники	Документы, оформленные подлинными установленными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий. Допускается в качестве подлинников использовать оригиналы, фотокопии или экземпляры образцов, издаваемых типографским способом, оформленных заверительными подписями
Дубликаты	Копии подлинников, обеспечивающие идентичность воспроизведения подлинника, выполненные на любом материале, позволяющем снимать с них копии
Копии	Документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником (дубликатом), и предназначенные для непосредственного использования при разработке в производстве, эксплуатации и ремонте изделий

Изделие, примененное по конструкторским документам, выполненным в соответствии со стандартами ЕСКД, записывают в документах других изделий, в которых оно применено по обозначению своего основного конструкторского документа. Считается, что такое изделие применено по своему основному КД.

Основной комплект КД изделия объединяет КД, относящиеся ко всему изделию. Конструкторские документы составных частей в основной комплект документации изделия не входят.

Контрольные вопросы

1. Роль стандартизации в процессе проектирования электронных средств.
2. Что такое стандартизация и нормализация в конструировании ЭС?
3. Каковы основные положения ЕСКД?
4. Перечислите основные виды конструкторских документов.
5. Какие конструкторские документы относятся к группе текстовых?
6. Каковы требования к построению текстовых документов?
7. Какие конструкторские документы относятся к группе графических?
8. Назначение электрической функциональной схемы.
9. Назначение электрической структурной схемы.

4. КОМПОНОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лекция 8

П л а н л е к ц и и

4.1. Задачи компоновки.
4.2. Общая методология проектирования.
4.3. Конструктивная иерархия.

Л и т е р а т у р а: [21, 24, 29, 42].

После того как проанализированы ограничения на разрабатываемую аппаратуру, приступают непосредственно к этапам разработки конструкции, электрического монтажа, выбора материалов, покрытий и т. д. Прежде чем приступить к рассмотрению этих вопросов, кратко остановимся на общих принципах выработки основных конструктивных решений.

4.1. Задачи компоновки

Процесс компоновки ЭС начинается, как правило, с первого этапа конструирования изделия и длится вплоть до выпуска рабочей документации. В общем случае конструирование включает нахождение геометрических связей составных частей изделия, т. е. размещение этих частей на плоскости или в пространстве.

Компоновка – часть процесса конструирования, при котором определяются конфигурация и габариты изделия в целом и его составных частей, а также взаимное расположение отдельных деталей, узлов и блоков.

Компоновка ЭС должна отвечать всем требованиям ТЗ.

В зависимости от принятой компоновочной схемы аппаратура может быть выполнена в виде функциональных узлов или в виде моноблока.

Функциональный узел – часть сложного изделия, которая выполняет простейшие преобразования и имеет конструктивную и технологическую автономию, но не может быть использована без других функциональных узлов.

Моноблок – совокупность нескольких функциональных узлов, установленных на общее основание и соединенных электрически.

Компоновку обычно выделяют в отдельный этап разработки изделия, однако некоторые ее элементы можно увидеть на любом этапе разработки ЭС, в связи с постоянной оптимизацией изделия.

4.2. Общая методология проектирования

При проектировании изделий применяется много методов получения решений поставленной задачи, основными из которых являются следующие.

Инверсия, или «сделай наоборот», – метод получения нового решения путем отказа от традиционного решения. Новое решение является обычно диаметрально противоположным известному. В случае если речь идет о составных элементах объекта, то они обычно меняются местами.

Принципы инверсии:

- снаружи – внутри;
- вертикально – горизонтально;
- вертикально – вверх дном (вверх ногами);
- с лицевой стороны – с обратной стороны;
- поверхность охватывающая – поверхность охватываемая;
- симметрично – асимметрично;
- ведущее – ведомое;
- жесткое – гибкое;
- растяжение – сжатие и др.

Приведем два примера использования принципа инверсии.

Снаружи – внутри. На деках магнитофонов в принципе возможно размещение кассетоприемников двумя вариантами: в центре передней панели (органы управления на периферии) и по ее краям (органы управления в центре). Однако в последнее время практически все ведущие фирмы-производители бытовой ЭС остановились на втором варианте, приведенном на рис. 4.1.

С лицевой стороны – с обратной стороны. Наглядным примером инверсии с применением рассматриваемого принципа является организация процесса нанесения изображения в матричных и лазерных принтерах. В первом случае она наносится на внешнюю сторону листа (рис. 4.2, *а*), а во втором – на внутреннюю (рис. 4.2, *б*).

Рис. 4.1. Расположение кассетоприемников на передней панели магнитофона

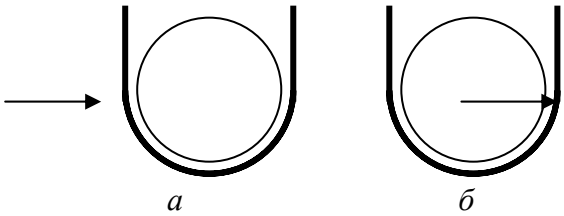


Рис. 4.2. Пример инверсии

Аналогия, или метод прецедента, – использование решения из других областей науки и техники. Этот метод применяется при создании конструкций аналогичных ранее разработанным (часто при проектировании бытовой ЭС для расширения номенклатуры изделий с целью продвижения на рынке товаров одной фирмы) и используется в проектировании очень широко, так как применение готовых и отработанных ранее конструктивных решений приводит к существенному сокращению сроков проектирования и освоения нового изделия в производстве.

Комбинирование – использование в конструкции в разном порядке и в разных сочетаниях отдельных элементов готовых решений. При этом можно найти новое качество, дополняющий положительный эффект. Например, известны два основных принципа построения бытовых аудиокомплек-сов: моноблочный (рис. 4.3) и полиблочный. В первом случае реализуется подход «всё в одном флаконе». Такое построение позволяет минимизировать массогабаритные характеристики, уменьшить занимаемую площадь и более рационально решить вопрос о размещении устройства на месте эксплуатации. Во втором случае можно значительно улучшить качественные показатели изделия.

Рис. 4.3. Моноблочное исполнение бытовой ЭС

Еще один пример: разные комбинации в размещении акустических систем позволяют реализовать монофоническое, стереофоническое либо квадрофоническое звучание.

Метод комбинирования может применяться по трем схемам объединения элементов:

- новое + новое;
- новое + старое;
- старое + старое.

Возможность применения метода комбинирования учитывается при создании ПЭВМ. В последнее время вычислительная техника интенсивно

развивается, и пользователь не имеет возможности постоянно работать на полностью новой технике. Поэтому обновление персонального компьютера ведется периодически, путем постепенной замены тех или иных составляющих – процессора, памяти, внешних устройств и т. д.

Компенсация – уравновешивание (нивелирование, устранение и т. д.) нежелательных и вредных факторов средствами противоположного действия. Например, для компенсации температурного изменения емкости применяют последовательную схему включения конденсаторов с разным температурным коэффициентом емкости (ТКЕ) – положительным и отрицательным, а для компенсации зависимости воспринимаемой человеком громкости от акустического давления при разных уровнях выходной мощности в качестве регуляторов громкости в усилителях звуковой частоты применяют резисторы с нелинейной зависимостью сопротивления от положения регулятора.

Динамизация – превращение неподвижных и неизменных по форме элементов конструкции в подвижные и изменяемые. Например, применение индикаторов уровня сигнала в виде светоиндикаторных устройств на лицевых панелях аудиотехники (усилители, магнитофоны и пр.) «оживляет» статичную конструкцию и привлекает внимание. Хотя, если говорить о контроле за уровнем записи или воспроизведения, то для этих целей лучше подходят стрелочные индикаторы. Другой пример: вертикальное расположение регуляторов тембра в многополосных темброблоках позволяет наглядно представить вид заданной амплитудно-частотной характеристики (рис. 4.4).

Рис. 4.4. Пример динамизации

Агрегатирование – создание комплексов из множества объектов,

способных выполнять различные функции либо существовать в различных условиях. Это достигается путем изменения состава объекта или структуры его составных частей.

Основные способы агрегатирования:

- *соединение устройств с самостоятельным объектом, представляющим комплекс*. Например, измерительный прибор с разными датчиками может выполнять измерение различных параметров – температуры, давления и т. д.;
- *агрегатирование присоединением*: к базовой составной части могут присоединяться различные зависимые составные части. Например, один

- и тот же системный блок ПЭВМ может использоваться с различными видами мониторов, клавиатур и пр.;
- *агрегатирование без присоединения*: составные части могут выполнять самостоятельные и независимые функции. Например, при формировании рабочего места регулировщика (настройщика) ЭС используются обычно выполняющие самостоятельные функции приборы, такие как источники
- питания, осциллографы, генераторы и пр.;
- *агрегатирование изменением*: в объекте могут применяться всевозможные варианты составных частей при различной компоновке. Например, в корпусе системного блока ПЭВМ могут размещаться считыватели различных носителей информации – магнитной, оптической и т. д.

Блочно-модульное конструирование предусматривает создание изделий на основе модулей и блоков. *Модуль* – составная часть изделия, состоящая преимущественно из унифицированных или стандартных элементов

различного функционального назначения. Этот принцип положен в основу создания конструкций кассетного исполнения.

Резервирование (дублирование) – увеличение числа элементов для повышения надежности изделия в целом. Существуют различные схемы резервирования ЭС: горячее, холодное и др.

Метод расчленения заключается в разделении традиционных технических объектов с целью упрощения выполняемых ими функций и операций.

Идеализация – замена реальных объектов нереальными (моделями),

с неосуществимыми свойствами, и изучение их как идеальных (точка, линия, абсолютно твердое (черное) тело и др.). Этот метод позволяет значительно упростить сложные системы, обнаружить существенные связи и применить математические методы исследования. Идеализация применяется при

построении всех моделирующих САПРов.

4.3. Конструктивная иерархия

Все ЭС можно представить как некоторую иерархию (рис. 4.5).

Иерархия – расположение составных частей целого в порядке подчинения.

В радиоаппаратостроении выделение составных частей производится исходя из следующих соображений:

во-первых, каждая структурная единица должна иметь четко выраженные входные и выходные функции (радиотехнические, электротехнические, механические);

во-вторых, должна быть конструктивная законченность, т. е. один конструктивно законченный ФУ может объединять несколько ФУ, выделенных по радиотехническому или электротехническому назначению;

в-третьих, для каждого структурного уровня должна быть технологическая автономия, т. е. независимость изготовления.

Таким образом, разделение ЭС на структурные уровни позволяет:

- организовать производство по независимым циклам для каждого структурного уровня;
- автоматизировать процессы сборки и монтажа;
- сократить период настройки за счет предварительной настройки составляющих конструктивных единиц;
- автоматизировать решение задач размещения элементов и трассировки межсоединений;
- унифицировать стендовую аппаратуру для испытаний конструктивных единиц, повысить надежность.

Рис. 4.5. Пример иерархии ЭС

Одним из направлений в выделении структурных единиц с точки зрения конструктивной обособленности является создание модулей. По конструктивной реализации они делятся на плоские, объемные, герметичные, этажерочные и др.

Применение модульных конструкций позволяет реализовать указанные преимущества иерархии ЭС и, в частности, обладает следующими особенностями:

- получение стандартных, универсальных, проверенных и оптимизированных функциональных блоков;
- обеспечение механизации технологического процесса;
- облегчение обнаружения неисправности (как в аппаратуре в целом, так и непосредственно в модуле);
- минимизация времени восстановления (смена модуля);

• простота введения модификации и улучшения функционирования системы путем замены модулей;

• возможность организации массового производства;

• получение определенной степени унификации (упрощение и быстрота новых разработок);

• упрощение работы с модулями, их монтажа и хранения благодаря типизации их размеров и их небольшому весу;

• гибкость системной разработки в сочетании со стандартизацией, качеством, экономией;

• некоторое уменьшение плотности компоновки;

• сокращение номенклатуры покупных и оригинальных деталей и ЭРЭ.

Лекция 9

П л а н л е к ц и и

4.4. Методы выполнения компоновочных работ.
4.4.1. Аналитическая компоновка.
4.4.2. Модельная компоновка.
4.4.3. Графическая компоновка.
4.5. Выполнение компоновочных работ в зависимости от стадии проектирования.
4.6. Виды компоновки ЭС.

Л и т е р а т у р а: [21, 24, 29, 42].

4.4. Методы выполнения компоновочных работ

Методы выполнения компоновочных работ делятся на две группы: аналитические и модельные. В первую группу входят численные и номографические, во вторую – натурные, аппликационные, модельные, графические и другие, основой которых является та или иная модель.

4.4.1. Аналитическая компоновка

Аналитическая компоновка основана на анализе численных значений различных компоновочных характеристик: геометрических размеров элементов, их объемов, масс, потребляемой энергии и т. д.

Имея соответствующие компоновочные характеристики и зная законы их суммирования, можно вычислить компоновочные характеристики изделия и его составных частей. Сложнее при этом вычислить объемы деталей сложной геометрической формы. Обычно их разбивают на ряд простых фигур,

число которых бывает значительным. Поэтому при аналитической компоновке число замещающих фигур стремятся свести к минимуму, а размеры их взять такими, чтобы сразу можно было получить значение установочного объема и подобных ему параметров.

Процессы преобразования сигналов в ЭС выполняются с помощью так называемых активных материалов, но они, в свою очередь, требуют обязательного использования вспомогательных и конструктивных материалов. Сумма объемов этих материалов и определяет физический объем ЭРЭ, который можно выразить как

$$V_{\text{физ}} = V_{\text{акт}} + V_{\text{всп}} + V_{\text{констр}}, \quad (4.1)$$

где $V_{\text{акт}}$ – объем, занимаемый активными материалами, без которых принципиально невозможно выполнение того или иного процесса, обеспечивающего нормальное функционирование изделия (кристалл); $V_{\text{всп}}$ – объем, занимаемый вспомогательными материалами, обеспечивающими активным материалам выполнение того или иного физического процесса (изоляция, покрытия, монтажные провода и т. д.); $V_{\text{констр}}$ – объем, занимаемый конструктивными материалами, обеспечивающими неизменность положения в пространстве активных и вспомогательных материалов для выполнения ими физических функций, а также дополнительную защиту от внешних воздействий (шасси, корпуса и т. д.).

Под $V_{\text{физ}}$ (рис. 4.6) понимается объем жидкости, вытесненный при погружении в нее ЭРЭ или других изделий.

Расчетным параметром при аналитической компоновке ЭС является не физический объем ($V_{\text{физ}}$), а установочный – $V_{\text{уст}}$ (рис. 4.7):

$$V_{\text{уст}} = V_{\text{физ}} + V_{\text{монт}} + V_{\text{доп}}, \quad (4.2)$$

где $V_{\text{монт}}$ – объем, необходимый для монтажа ЭРЭ в изделии; $V_{\text{доп}}$ – дополнительный объем, получающийся после монтажа ЭРЭ, в котором другие ЭРЭ не устанавливаются.

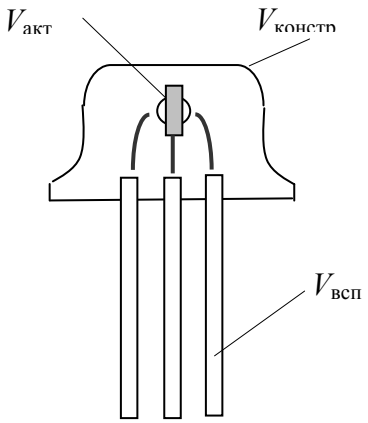


Рис. 4.6. Состав физического объема ($V_{\text{физ}}$)

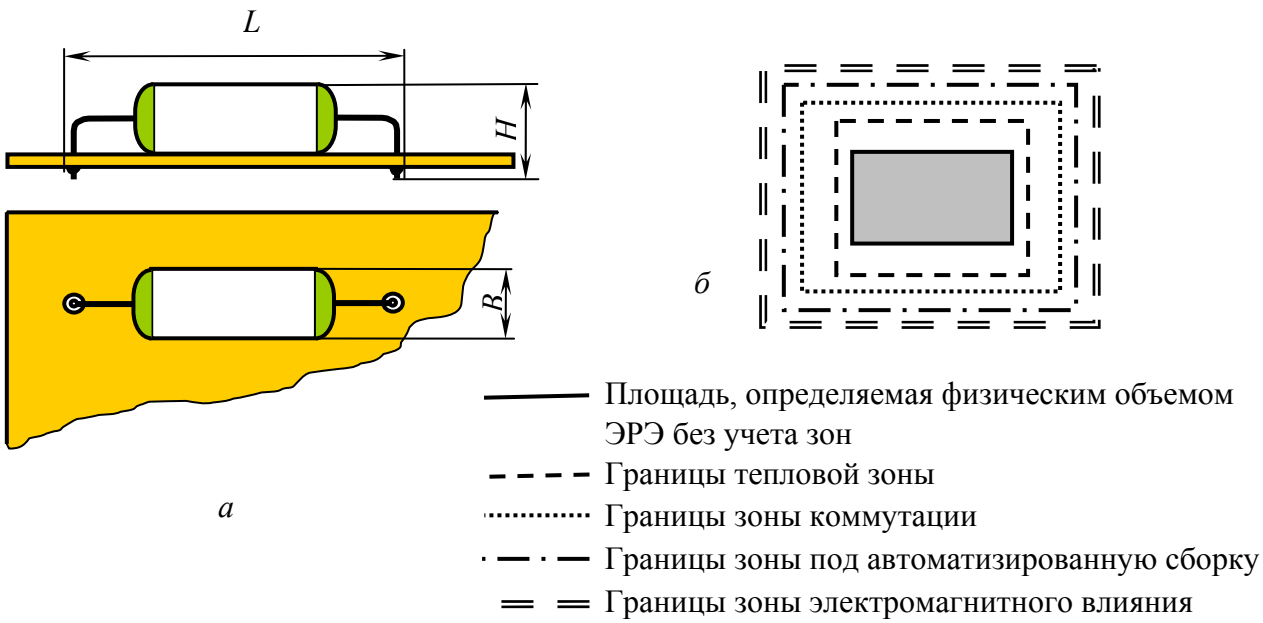


Рис. 4.7. Установочный объем (*а*) и возможные зоны (*б*), учитываемые в процессе определения установочных площадей (границы зон показаны условно)

В первом приближении можно принять, что установочный объем определяется только длиной L, шириной B и высотой H (рис. 4.7, *а*), которые обусловлены в рассматриваемом случае вариантом установки ЭРЭ на печатную плату:

$$V_{уст} = BLH. \tag{4.3}$$

Однако, как видно из рис. 4.7, *б*, дополнительный объем может определяться достаточно большим количеством факторов. В случае когда известны только габаритные размеры ЭРЭ, приближенно оценить установочный объем и установочную площадь $S_{уст}$ можно по следующим выражениям:

$$V_{уст} = 1{,}5BLH; \tag{4.4}$$

$$S_{уст} = 1{,}3BL. \tag{4.5}$$

Основой аналитической компоновки является выражение вида

$$К_{п} = К_{ув}\sum_{i=1}^{n} N_i = \left(\frac{1}{К_{зап}}\right)\sum_{i=1}^{n} N_i\ , \tag{4.6}$$

где $К_{п}$ – компоновочный параметр (вес, объем, площадь); $К_{ув}$ – коэффициент увеличения; n – число составляющих компоновочных параметров; N_i – элементарный (единичный) компоновочный параметр i-го элемента; $К_{зап}$ – коэффициент заполнения.

Для объема V, массы G и потребляемой мощности P исходные выражения имеют вид

$$V = \left(\frac{1}{\mathrm{K}_{\text{зап}}}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} V_{Ai} + \sum_{i=1}^{n} V_{Bi}\right) = \left(\frac{1}{\mathrm{K}_{\text{зап}}}\right) V_{\text{уст}}, \tag{4.7}$$

$$G = G'V, \tag{4.8}$$

$$P = \left(\frac{1}{\mathrm{K}_{\text{п.п.}}}\right)\left(\sum P_{N_i}\right), \tag{4.9}$$

где V_{Ai}, V_{Bi} – установочные объемы единичных элементов; G – масса изделия; G' – объемная масса изделия; P – потребляемая мощность изделия; $\mathrm{K}_{\text{п.п.}}$ – коэффициент потерь мощности при питании; P_{Ni} – рассеиваемая мощность i-го элемента.

Таблица 4.1

Значения объемной массы и коэффициента заполнения ЭС различного назначения

Аппаратура	G' (кг/дм^2)	$\mathrm{K}_{\text{зап}}$
Передающая: с естественным охлаждением	0,55	0,11
с принудительным охлаждением	0,6	0,27
для бортовой аппаратуры	0,9	0,59
Приемная: с естественным охлаждением	0,45	0,18
с принудительным охлаждением	0,7	0,63
для бортовой аппаратуры	0,9	0,68
Релейная: с естественным охлаждением	0,65	0,13
с принудительным охлаждением	0,8	0,32
для бортовой аппаратуры	1,1	0,94
Питания: с естественным охлаждением	0,55	0,28
с принудительным охлаждением	0,6	0,44
для бортовой аппаратуры	0,9	До 0,95

Обобщенные значения объемной массы изделия G' и коэффициента заполнения $\mathrm{K}_{\text{зап}}$ в зависимости от типа аппаратуры приведены в табл. 4.1.

Аналитическая компоновка выполняется по перечням элементов, однако она не обладает наглядностью и не позволяет построить пространственный компоновочный эскиз.

Хорошие результаты аналитическая компоновка дает при расчете печатных плат, схемы которых построены с использованием микросхем в одинаковых корпусах.

4.4.2. Модельная компоновка

Модельная компоновка осуществляется с использованием объемных и плоских моделей ЭРЭ. В первом случае мы имеем дело с объемной модельной компоновкой, во втором – с аппликационной компоновкой.

Объемная модельная компоновка дает более наглядное представление об изделии, но требует более сложных составных частей. При этом часто используют различные упрощения формы реальных изделий, причем не только составляющих изделие элементов, но и шасси, корпуса и т. д. Объемные модели изготавливают из любых легкообрабатываемых материалов (картон, пенопласт и др.). Когда вместо объемных моделей используются непосредственные детали, говорят о *натурной компоновке*.

Аппликации – плоские модели ЭРЭ из бумаги, картона, кальки, стали.

С широким внедрением ЭВМ модельная компоновка (как плоская, так и объемная) стала возможна на вычислительных машинах. Однако в ряде случаев натурная компоновка необходима (исследование аэродинамических процессов, тепловых напряженностей и т. д.).

Для оценки теплового режима может быть использована также *изотермическая компоновка*. Для этих целей применяется полимерная пленка, изменяющая свой цвет в зависимости от изменения температуры. Интервал рабочих температур – от минус 20 до 150 °С. Разрешающая способность по температуре – доли градуса.

4.4.3. Графическая компоновка

Графическая компоновка является основным способом детальной проработки вариантов размещения элементов конструкции, получения документации. Это самый трудоемкий метод компоновки.

Обычно графическая компоновка начинается с размещения органов управления и контроля на передней (задней) панели изделия самого высокого структурного уровня (прибора, блока, пульта, стойки и т. д.), исходя из требований эргономики и технической эстетики. Затем переходят к компоновке более низких структурных уровней.

4.5. Выполнение компоновочных работ в зависимости от стадии проектирования

На подготовительном этапе проектирования, когда проводится определение укрупненных компоновочных характеристик изделия в целом, пользуются аналитическими методами компоновки.

На стадии эскизного проектирования выполняется наибольшее число компоновочных работ и используются все методы компоновки. На этом этапе определяются компоновочные характеристики отдельных ФУ и каскадов ЭС, выполняются эскизы органов управления и контроля. Результатом этой стадии проектирования является составление общей компоновочной схемы изделия с разбивкой ее на отдельные конструктивно законченные части:

компоновка рабочего места оператора, компоновочный эскиз расположения изделия на объекте установки.

На стадии технического проектирования выполняются компоновочные работы для всех ФУ и блоков. Основные методы компоновки – модельный и графический.

4.6. Виды компоновки ЭС

Современные ЭС различаются по уровню сложности и, следовательно, габаритам и весу. В зависимости от назначения и объекта установки габариты и вес ЭС регламентируются соответствующими ГОСТами, исходя из удобства транспортирования и размещения изделия.

Если аппаратура состоит из нескольких конструктивно законченных изделий, то возможны два вида компоновочных схем. При *централизованной компоновке* все оперативные органы управления настройки и индикации размещают в блоке управления. При необходимости блоки управления всех или части устройств компонуют в пульт управления, обслуживаемый оператором. При *децентрализованной компоновке* каждый прибор, блок, пульт имеют свои органы управления, настройки и контроля. Однако в сложных системах чаще применяется совмещение обоих видов компоновочных схем.

Лекция 10

П л а н л е к ц и и

4.7. Вопросы эргономики при проектировании ЭС.
4.8. Сенсорный вход оператора и его параметры.
4.9. Особенности визуального восприятия информации.
4.9.1. Пространственные характеристики зрительного анализатора.
Л и т е р а т у р а: [14, 15, 48].

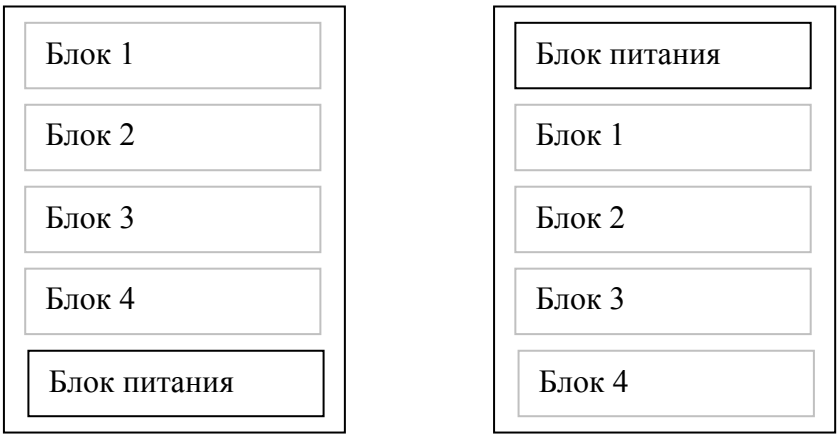
4.7. Вопросы эргономики при проектировании ЭС

Из сказанного ранее следует, что компоновка аппаратуры должна проводиться исходя из двух независимых посылов.

Первый посыл: размещение блоков в стойке, функциональных узлов в блоке, компонентов в функциональных узлах должно обеспечивать надежное функционирование изделия. В качестве примера рассмотрим, где должен быть установлен блок питания в стойке. Здесь возможны два основных варианта: блок питания расположен внизу (рис. 4.8, *а*) или вверху (рис. 4.8, *б*) стойки.

Исходя из того, что блок питания является, как правило, одним из наиболее тепловыделяющих блоков, его размещение вверху стойки наиболее оправдано: проще обеспечить нормальный тепловой режим компонентов, рас-

положенных в других блоках. Тем не менее в аппаратуре первых поколений ЭС блок питания размещался внизу. Это связано с использованием преобразования по низкой частоте (50 или 400 Гц). Соответственно массогабаритные характеристики трансформаторов, выпрямляющих элементов и сглаживающих фильтров были достаточно большие, и размещение блоков питания вверху смещало вверх и центр тяжести, что приводило к неустойчивости стойки.



а б

Рис. 4.8. Компоновочные схемы стойки

Применение преобразования по высокой частоте (десятки килогерц) в современных изделиях, например в телекоммуникационных стойках, позволило поместить блок питания вверху без ухудшения устойчивости стойки на месте эксплуатации.

Другим посылом при компоновке является адаптация изделия к возможностям человека.

Дальнейшее совершенствование и усложнение ЭС вступает в противоречие с возможностями человека, который ею управляет. Современная радиотехническая аппаратура предъявляет повышенные требования к человеку-оператору, в том числе к его оперативно-технической, познавательной, эмоциональной деятельности, к его возможностям и способностям. Не менее важно и то, что человек со своей стороны предъявляет более высокие требования к технике. Для выполнения этих требований необходим поиск таких конструктивных решений ЭС, когда не человек приспосабливается к технике в силу своих субъективных умений, а новая техника создается в соответствии с возможностями человека-оператора, активно формируя его способности.

Качественные различия между человеком и техникой не исключают возможности рассматривать их в определенном отношении как звенья единой системы «человек – техника» (ЧТС), в которой ведущая роль отводится человеку. При этом установлены противоречивые особенности оператора как звена системы ЧТС. С одной стороны, человек обладает огромными резервами памяти, логическим и образным мышлением, способностью к быстрой адаптации и обработке большого объема информации. С другой стороны, он представляет собой медленно действующее, эмоциональное, подверженное

утомлению и недостаточно надежное в силу своей субъективности звено, критичное в отношении параметров окружающей среды: температуры, давления, влажности, механических, акустических и других воздействий.

Деятельность оператора в системе ЧТС включает несколько этапов: восприятие информации, ее осмысление, хранение, принятие решения, выполнение управляющего действия и контроль результатов.

Восприятие информации происходит путем воздействия сигнала на *анализаторы* – нервные окончания, связанные с органами чувств человека. При работе человека с техникой задействованы зрительные, слуховые и тактильные (осязательные) анализаторы.

Эргономика (греч. *ergon* – работа, *nomos* – закон) – наука о взаимодействии человека-оператора с машиной и средой, объединенных в единую человекомашинную (эргатическую) систему (ЧМС). Убедительным примером необходимости развития этой науки в области радиотехники и конструирования ЭС является сравнительный анализ надежности существующих американских ракетных систем, который показал, что ошибки человека-оператора составляют 20–53 % всех отказов в системе.

При проектировании эргономичной ЭС необходимо учитывать физиологические, психофизиологические и психологические требования.

Физиологические требования определяют соответствие изделия физиологическим свойствам человека, например углу оптимального или максимального поворота глаз, головы и др.

Психофизиологические требования – соответствие особенностям функционирования органов чувств человека (порог цветового или углового восприятия зрением, скорость восприятия информации и т. п.).

Психологические требования – соответствие изделия психологическим особенностям человека: особенностям восприятия, мышления, ассоциации цветоощущения и т. д.

Кроме того, эффективность работы пользователя ЭС (оператора и др.) зависит от факторов, определяющих время получения информации и время ее оценки и переработки.

Факторы, определяющие время получения информации: тип индикации; виды и число индикаторов; читаемость букв, цифр, знаков; световые характеристики – освещенность, яркость, цветовой тон и цветовая контрастность.

Факторы, определяющие время оценки и переработки информации: способ кодирования; степень сложности информационной модели; объем информации и динамика смены информации.

Прежде чем подробно остановиться на параметрах оператора и технических средств в их согласовании, отметим некоторые общие правила разработки ЧМС.

1. Необходимо применять *системный подход*, а именно:

а) выяснять взаимосвязи и свойства совокупности объектов, входящих в систему, в том числе оператора;

б) создавать и применять такие системы, которые давали бы компромиссы между «железом» – оператором – средой для оптимизации основной целевой функции всей системы (получить оптимальную систему для всех оптимальных звеньев невозможно).

2. Несмотря на совместное выполнение функций оператором и «машиной», каждая из этих составляющих ЧМС подчиняется в своей работе собственным, свойственным ей принципам и закономерностям.

3. Необходимо помнить, что оператор «не любит крайностей»: ему плохо работается как при дефиците, так и при избытке времени (при предъявлении информации), как при ярком освещении, так и в темноте и т. д.

4. Система должна быть сконструирована так, чтобы оператор мог непрерывно принимать участие в ее функционировании на уровне, соответствующем возможностям пользователя (низкий уровень интереса к работе и неудовлетворенное моральное состояние оператора могут быть связаны с двумя обстоятельствами: оператор имеет низкую квалификацию, а управление аппаратурой требует высокой квалификации и, наоборот, требуется низкая квалификация от высококвалифицированного оператора).

5. Максимальная автоматизация процессов не всегда полезна: думающий оператор занимает центральное место в системе «человек – машина», поэтому задача состоит не в том, чтобы показать высокую автоматизацию системы, а в том, чтобы доказать необходимость автоматизации. Машина служит не для вытеснения и замены оператора, а для умножения его способностей.

4.8. Сенсорный вход оператора и его параметры

Человек воспринимает поступающую из окружающей среды информацию с помощью органов зрения, слуха, осязания, вкуса, обоняния, болевых ощущений, время реакции которых отражено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Способы получения информации человеком

Способ получения информации	Время реакции, мс
Тактильный (прикосновение)	105 ±10 %
Слуховой (звук)	150 ±20 %
Зрительный (свет)	185 ±19 %
Обонятельный (запах)	350 ±11,4 %
Температурный (тепло – холод)	940 ±70 %
Вкусовой (кислое, сладкое, горькое)	695 ±55 %
Движение (действие на вестибулярный аппарат)	600 ±33 %
Болевой	510 ±75 %

Каждый из этих органов имеет свой *порог чувствительности*, *пропускную способность*, *область применения* в ЧТС. Различают *сенсорный вход* человека-оператора (зрение, слух, осязание, обоняние и т. п.) и *моторный выход* – рабочие движения рук, ног, туловища, характеризующие пространство, временные и силовые показатели.

Отметим некоторые общие свойства сенсорного входа человека-оператора.

Первое свойство. Человек не может решать простую задачу на различение одиночных моносигналов, если их число превышает 7 («магическое» число 7 ±2).

В одном из опытов испытуемым предлагали различить тоны по частоте в диапазоне от 100 Гц до 8 кГц. Ошибок не было при двух-трех тонах, предъявляемых отдельно. При четырех тонах начали появляться ошибки. При пяти тонах число ошибок возросло, а при 9 тонах была сплошная путаница. Аналогичные результаты дали опыты со зрением, с кожной и вкусовой чувствительностью.

Второе свойство. При усложнении информации (увеличение числа признаков сигналов, например оттенка и насыщенности цветовых тонов раздражителей) количество воспринимаемой информации увеличивается (с 7 до 11–15 цветов).

Третье свойство. Наибольшей пропускной способностью информации обладает зрительный аппарат (5 бит/с), затем слуховой, которые чаще задействуются в ЧТС.

Четвертое свойство. Перекодирование информации резко снижает пропускную способность сенсорного входа оператора.

Пятое свойство. Перегрузка информацией и дефицит времени снижают пропускную способность оператора. В одном из американских исследований изучали работу операторов в кабине космического тренажера. Испытуемым подавали световые сигналы, на которые они должны были отвечать определенным образом. Если сигналы подавались один раз за 9–10 с, то операторы работали нормально. Когда же темп подачи информации возрос в 10 раз (количество сигналов в секунду), то наблюдалась перегрузка информацией (пропуск информации и неверные ответы). Интересно отметить, что когда темп подачи сигналов уменьшился в 10 раз по сравнению с нормальным, то пропуски информации и ошибки вновь участились. Отсюда следует, что наибольшая чувствительность и пропускная способность сенсорного входа человека зависят от частоты предъявления информации.

Основным источником получения информации в системе «оператор – ЭС» является зрительный аппарат оператора, свойства которого рассмотрим более подробно.

4.9. Особенности визуального восприятия информации

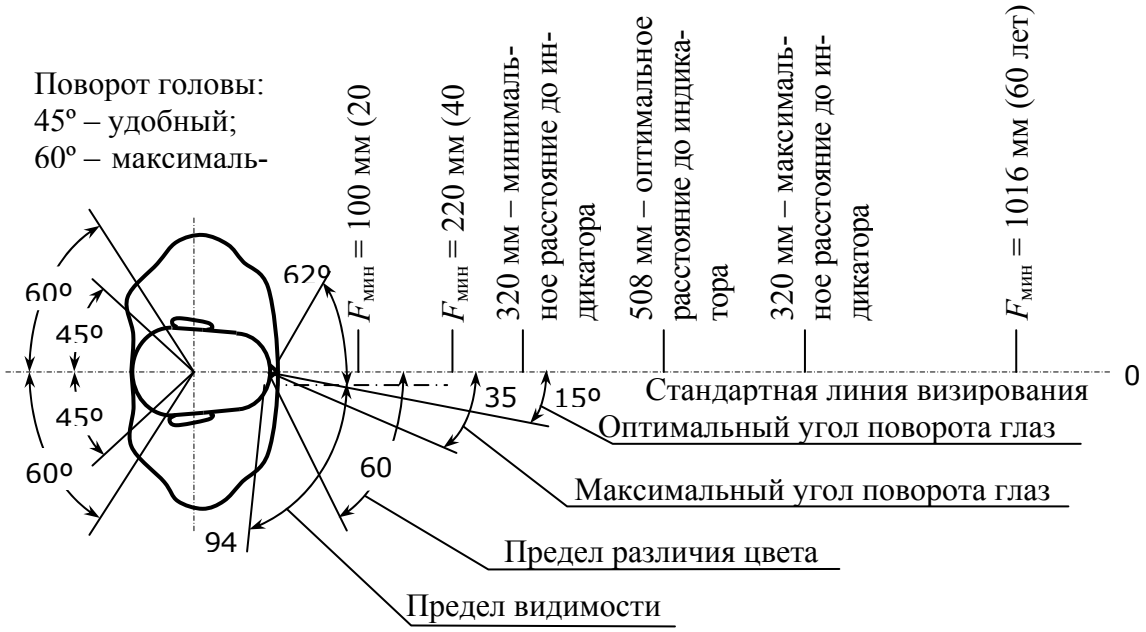
Основным органом чувств человека, позволяющим воспринимать информацию о форме, цвете, яркости и движению с пульта управления, передней панели прибора, тары, упаковки и др., является зрение. Глаз человека обладает рядом свойств, которые необходимо учитывать при конструировании средств отображения информации.

Основные характеристики зрительного анализатора пользователя ЭС приведены на рис. 4.9.

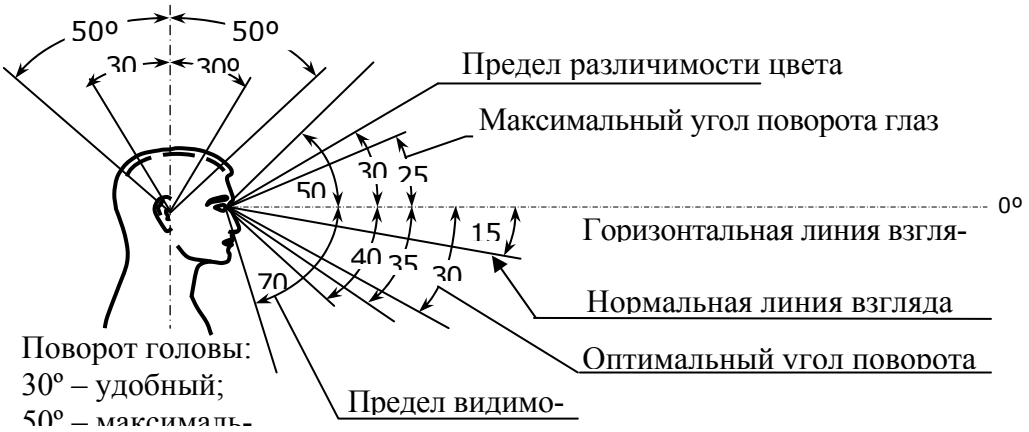
Рис. 4.9. Характеристики зрительного анализатора

4.9.1. Пространственные характеристики зрительного анализатора

Поле зрения характеризуется углами обзора в вертикальной и горизонтальной плоскостях при неподвижном положении головы (рис. 4.10). Очевидно, что при поворотах и наклоне головы углы обзоров значительно увеличиваются. С учетом бокового зрения поле последнего также увеличивается.



а



б

Рис. 4.10. Поле зрения: *а* – в вертикальной плоскости;
б – в горизонтальной плоскости

Исходя из параметров поля зрения человека, представленных на рис. 4.10, разработаны эргономические требования по формированию зон обзора оператора (ГОСТ 12.2.032). Рекомендуемые зоны обзора приведены на рис. 4.11. Указанные зоны обзора оптимальны для прямого зрения. Следует отметить, что перемещения лучше воспринимаются боковым зрением.

В зонах ±15° от сагиттальной плоскости и нормальной линии взгляда размещаются индикаторы и другие визуальные объекты, требующие быстрого и безошибочного считывания информации.

В зонах до ±30° от сагиттальной плоскости и нормальной линии взгляда размещаются индикаторы и другие визуальные объекты, требующие менее быстрого считывания информации. В этих зонах требуется движение глаз.

В зонах до ±60° от сагиттальной плоскости и нормальной линии взгляда размещаются индикаторы и другие визуальные объекты, не требующие быстрого считывания информации. В этих зонах требуется движение глаз и головы.

Острота зрения, или *разрешающая способность*, – свойство глаза обнаруживать малые объекты и различать тонкие детали. Она меняется в зависимости от вида объекта, спектрального распределения энергии излучения освещенности фона, контраста между объектом и фоном и скорости движения объекта.

С увеличением освещенности уменьшается время инерции глаза и снижается порог контрастной чувствительности. При этом острота зрения увеличивается. Глаза характеризуют *порогом разрешения* – минимальным угловым промежутком между равноудаленными точками, при котором они воспринимаются глазом раздельно. Предельный угол разрешения L' имеет порядок несколько десятых угловой минуты. Связь между ним и порогом контрастной чувствительности глаза K_0 определяется по формуле $L' = CK_0$, где C – постоянная, не зависящая от яркости поля адаптации. Таким образом, острота зрения является функцией контрастной чувствительности глаза.

Острота зрения тесно связана с *аккомодацией* (скорость фиксации в поле зрения) – процессом фокусирования хрусталика глаза на объекте. Минимальное расстояние для аккомодации зависит от возраста человека (табл. 4.3). Если объект расположен далее 6 м, то он находится в оптической бесконечности и аккомодация не требуется.

Объемное восприятие, или *стереоскопичность*, – возможность восприятия двух различных изображений, которые определены одним световым раздражителем. Стереоскопичность имеет *порог глубины* 5 угл. с.

Стереоскопичность связана с *конвергенцией* – нацеливанием чувствительности глаза на одну точку при совместном действии глазных мышц и хрусталика. Среднее время, необходимое для нацеливания и фокусировки глаз на новую точку, составляет примерно 165 мс.

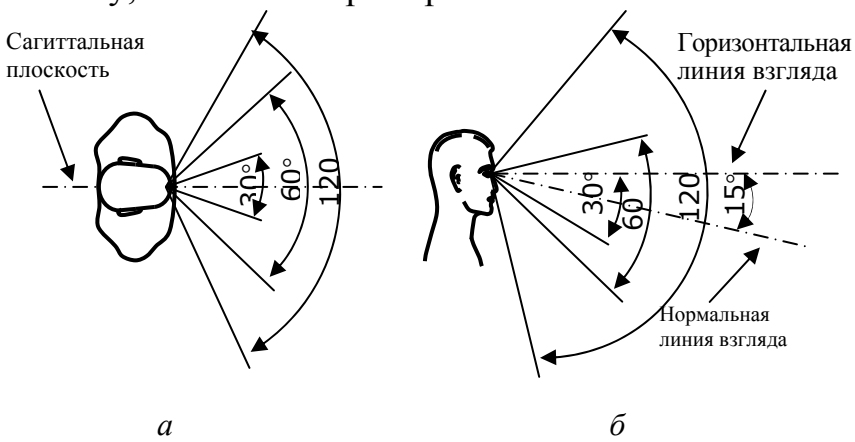


Рис. 4.11. Рекомедуемые зоны обзора: *а* – в горизонтальной плоскости; *б* – в вертикальной плоскости

Таблица 4.3

Зависимость расстояния для аккомодации от возраста человека

Возраст, лет	Расстояние, мм
5–6	60
20	100
40	220
60	1000

Возможность объемного восприятия объектов учитывается при разработке объемной маркировки и размещении индикаторов со стрелочными указателями, для обеспечения считывания показаний с последних с минимальным параллаксом.

Лекция 11

П л а н л е к ц и и

4.9.2. Энергетические характеристики зрительного анализатора:
- диапазон воспринимаемых яркостей;
- чувствительность к изменению цветового тона;
- чувствительность к изменению насыщенности;
- чувствительность к изменению яркости;
- психологические и психофизические характеристики цвета.

4.9.3. Информационные характеристики зрительного анализатора:
- объем восприятия;
- пропускная способность.

Л и т е р а т у р а: [14, 15, 48, 49].

4.9.2. Энергетические характеристики зрительного анализатора

Диапазон воспринимаемых яркостей. Благодаря адаптации человек воспринимает огромный диапазон яркостей – от 10^{-6} до 10^{6} кд/м^2, т. е. 12 порядков. При яркости 10^{12} кд/м^2 наступает ослепление. В пределах поля зрения оператора перепады яркости не должны быть более 1:30.

Оптимальная яркость фона, обеспечивающая наибольшую разрешающую способность зрения, составляет 10^{4} кд/м^2.

Надо также иметь в виду, что как при значительном увеличении яркости, так и при значительном ее уменьшении число различимых цветовых тонов уменьшается.

Яркость фона (или объекта) B, кд/м^2, зависит от освещенности и коэффициента отражения поверхности:

$$B = \frac{pE}{\pi}, \qquad (4.10)$$

где p – коэффициент отражения поверхности; E – освещенность, лк.

Каждый цвет имеет свой коэффициент отражения (табл. 4.4).

Чувствительность глаза в первую очередь зависит от уровня освещенности и яркости. Различают абсолютный и дифференциальный (контрастный) пороги чувствительности глаза.

Абсолютным порогом световой чувствительности глаза называют минимально обнаруживаемую величину яркости светового пятна на черном фоне при отсутствии какого-либо освещения. Он лежит в диапазоне 10^{-6}–10^{-9} кд/м^2. Это означает, что световые ощущения в условиях абсолютной темноты могут быть вызваны лучистой энергией всего в несколько квантов.

Таблица 4.4

Зависимость коэффициента отражения от цвета поверхности

Цвет поверхности	Коэффициент отражения	Цвет поверхности	Коэффициент отражения
Белый	0,85	Синий:	
Желтый:		светлый	0,55
светлый	0,75	средний	0,35
средний	0,65	темный	0,13
Серый:		Красный темный	0,15
светлый	0,75	Коричневый	0,10
средний	0,55	Черный	0,07
темный	0,30		
Зеленый:			
светлый	0,65		
средний	0,52		
темный	0,12		

Чувствительность к изменению цветового тона. В 1924 г. Международная комиссия по освещению установила стандартную функцию относительной видности, которая является спектральной чувствительностью зрения стандартного наблюдателя и представляет собой зависимость воспринимаемой яркости от длины волны при постоянной мощности излучения монохроматического источника света (рис. 4.12).

Из рис. 4.12 видно, что ощущаемая яркость в дневном освещении достигает максимума при λ = 550 нм (зеленый цвет). При длинах волн 510 и 610 нм относительная спектральная световая эффективность равна 0,5. При 472 нм (синий) и 650 нм (красный) чувствительность нормального человеческого глаза к яркости составляет около 0,1 его чувствительности к излучению при 550 нм.

Наиболее заметны различия цветового тона в диапазоне волн 480–640 нм (от голубых до красных цветов), особенно на волнах 500 и 600 нм (голубовато-зеленый и оранжевый цвета), на которых глаз различает изменения преобладающей длины волны приблизительно на 1 нм. В нормальных условиях зрение может различать 150 спектральных и 30 высоконасыщенных пурпур-

ных цветов (к спектральным относятся цвета, присутствующие в солнечном излучении или в излучениях других источников – лампы накаливания, дневного света и т. д.).

Чувствительность к изменению насыщенности. Чувствительность зрения к изменениям чистоты цвета больше для сильнонасыщенных и малонасыщенных цветов. При средней насыщенности цветов зрение малочувствительно к ее изменениям. Чувствительность к изменениям насыщенности желтого цвета является наименьшей, для синего и красного – наибольшей. Обнаружено, что если, не изменяя чистоты цвета, изменить его цветовой тон, то чистота цвета может казаться различной. А если при неизменной преобладающей длине волны изменить чистоту цвета, то цветовой тон может казаться изменяющимся.

Чувствительность к изменению яркости. При достаточно большой яркости светового потока (не менее 1 кд/м^2) максимальная чувствительность глаза на длине волны 550 нм. Мощность монохроматического излучения, умноженная на длину волны, дает световую мощность этого излучения. При уменьшении мощности излучения максимум чувствительности глаза сдвигается в сторону более коротких световых волн. При ослаблении яркости различаются только красные, зеленые и фиолетовые цвета, а оранжевые, желтые и голубые воспринимаются красными, зелеными и синими соответственно (эффект Безольда – Брюкке).

При малой яркости светового потока, менее 1 кд/м^2, максимальная чувствительность на волне 510 нм и глаз не различает цвета, зрение становится ахроматическим (бесцветным).

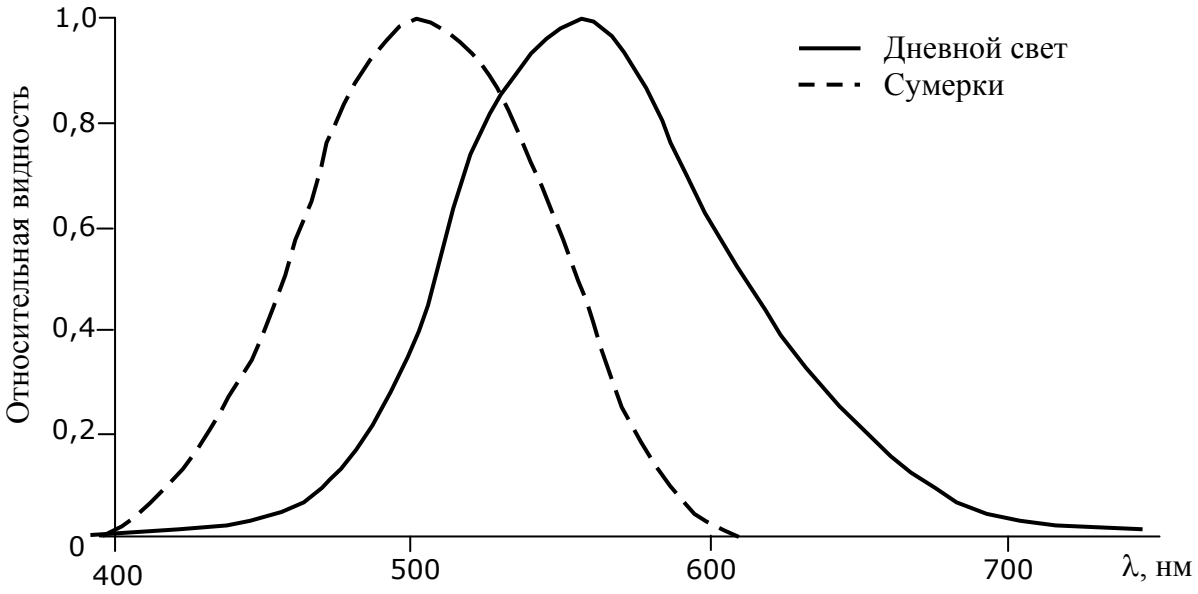


Рис. 4.12. Зависимость ощущаемой яркости монохроматического излучения от длины волны

Цветовое восприятие глаза заключается в его способности различать цвета по цветовому фону, насыщенности и контрастности. На деятельность оператора влияние цвета велико. Наиболее часто он используется как один из способов кодирования информации (цветокодовая маркировка) и для эстетического оформления рабочей зоны, включая композиционное формирование передних панелей приборов и пультов.

Процесс восприятия цвета глазом называется *цветовым (хроматическим) зрением*. Известно, что глаз человека имеет два вида световоспринимающих клеток, называемых *колбочками* и *палочками*, расположенных на сетчатке и являющихся окончаниями нервных волокон. Колбочки создают ощущение яркости и цвета светового потока, а палочки реагируют только на его яркость и позволяют человеку видеть слабоосвещенные предметы. Соответственно, восприятие цвета зависит от освещенности изделия, его размеров и т. д.

Глаз человека воспринимает электромагнитные колебания от любого источника в диапазоне длин волн 380–780 нм, называемом *видимым спектром*, и создающем в зрительном аппарате человека ощущение света. В зависимости от длины волны монохроматические световые потоки человек воспринимает как различные цветовые пятна (табл. 4.5). Существует семь основных участков (цветов) видимого спектра. Эти цвета, называемые *спектральными*, входят в состав солнечного света.

Таблица 4.5

Спектральный состав видимого света

Длина волны, нм	Цвет	Длина волны, нм	Цвет
780–605	Красный	500–470	Голубой
605–590	Оранжевый	470–430	Синий
590–560	Желтый	430–380	Фиолетовый
560–500	Зеленый		

Цветовые ощущения, которые возникают в зрительном аппарате человека, определяются психофизическими и психологическими факторами, т. е. зависят от спектрального состава излучения, воспринимаемого глазом, и свойства зрения. Кроме того, при наблюдении не самосветящихся тел, а отражающих или пропускающих свет спектральный состав света определяется спектральными свойствами как этих тел, так и освещающего их светового потока. Например, при освещении предмета поочередно источниками света с различными спектрами излучаемой энергии (лампой накаливания, лампой дневного света и т. д.) цветопередача одной и той же поверхности может меняться [5].

Поскольку зрительный аппарат человека обладает интегральной чувствительностью, т. е. реагирует на сумму всех составляющих видимого спектра, то ощущение одинакового света могут создаваться при различных спек-

тральных составах света, воздействующего на глаз. Это явление называется *метаморизмом*, а два световых потока с различными по составу спектрами, создающих у наблюдателя ощущение одинакового света, называют *метаморической парой*.

Каждому цвету соответствует *дополнительный* к нему *цвет*, обладающий следующим свойством: при смешении (сложении) в определенных пропорциях спектров основного и дополнительного цветов у наблюдателя создается ощущение белого цвета. Например: для желтого цвета дополнительным является синий, для оранжевого – голубой, для зеленого – пурпурный и т. д. Сочетания дополнительных цветов между собой в одной композиции являются наиболее сложными и негармоничными для восприятия наблюдателя, поэтому должны использоваться редко и осторожно.

Психологические и психофизические характеристики цвета. Многочисленными исследованиями установлено, что воспринимаемые цвета имеют до пяти различных свойств. Обычно достаточно характеризовать свет тремя параметрами (это верно, по крайней мере, для психофизического и изолированного психологического цветов). Существует две системы таких параметров, различающихся выбором вида характеристик – психологических (субъективных) или психофизических (объективных).

Психологические характеристики цвета оцениваются наблюдателем по зрительному ощущению светового потока, воспринимаемого глазом: это наблюдаемые яркость, цветовой тон и насыщенность цвета. Они зависят от условий наблюдения и состояния наблюдателя.

Наблюдаемая (ощущаемая, кажущаяся, воспринимаемая) *яркость цвета* есть оценка ощущения наблюдателя интенсивности (мощности) свечения цветной поверхности (светового излучения). Эта характеристика оценивается такими определениями, как слепящий, очень яркий, яркий, светлый, темный. Возможно применение также понятия *светлота цветового тона* – это относительная оценка ощущения яркости цвета, определяемая визуальным (зрительным) сравнением в одних условиях яркости данного цвета с яркостью другого (светлее, темнее) или с яркостью белой поверхности.

Под *цветовым тоном* (*оттенком*) понимают свойство цвета, позволяющее наблюдателю оценить цвет как красный, желтый, зеленый, голубой, синий и т. д. Это главная характеристика цвета, благодаря которой цвета получили свои названия. Человек различает около 120–200 основных цветовых тонов.

Насыщенность цвета отражает степень «его свободы» от примеси белого цвета. Визуально оценивая насыщенность, мы оцениваем долю спектрального (монохроматического) цвета, который в смеси с белым образует данный цвет. Точнее говоря, насыщенность – это число порогов, т. е. едва заметных переходов, отделяющих данный цвет от белого равной с ним яркости. Число таких порогов может быть 150–200. Спектральные цвета имеют максимальную насыщенность, а насыщенность белого равна нулю.

Цветовой тон, светлота, насыщенность определенным образом взаимосвязаны. Например, цветовой тон незначительно меняется при изменении светлоты и насыщенности. При большой яркости все спектральные цвета сдвигаются в сторону синих или желтых цветов, а при малой яркости – в сторону красных или зеленых. Если учитывать различие цветов по яркости, цветовому тону и насыщенности, то человек различает около 10 млн. цветов, отличных друг от друга по трем указанным параметрам.

Физическими приборами (объективно) можно измерить следующие параметры светового потока: яркость (в абсолютных единицах), преобладающую длину волны и чистоту цвета. Они являются тремя составляющими *психофизических характеристик цвета*.

Под *яркостью цвета* понимается сила света, излучаемая в данном направлении единицей площади в пределах телесного единичного угла. Она измеряется в канделах на метр квадратный.

Под преобладающей *длиной волны* цвета понимают длину волны монохроматического света λ_d, цветовой тон которого такой же, как у данного цвета.

Колориметрическая чистота цвета определяет относительное содержание в нем спектрального цвета.

Как было сказано выше, глаз человека различает объекты не только по яркости, но и по цвету. Величина, обратная интенсивности лучистой энергии (необходимой для вызывания у человека впечатления определенной яркости) и характеризующая чувствительность глаза к излучению на той или иной частоте (к цвету), называется *видностью*. В условиях сумеречного зрения максимум функции видности несколько смещается в сторону уменьшения длины волны (см. рис. 4.12), т. е. максимум чувствительности из желто-зеленой области перемещается в зеленую (с 550 до 510 нм).

Контраст выступает как одно из эргономических условий качества маркировки и активизирует форму цветовой гармонии лицевых панелей. Когда оператор работает в условиях далеких от абсолютного порога чувствительности, то возможность раздельного видения предметов определяется не абсолютной чувствительностью глаза, а его способностью различать локализованные в отдельных местах контрасты яркости.

Численно контрастность K при яркости фона $B_ф$ больше яркости объекта $B_о$ можно определить по формуле

$$K = \left(\frac{B_ф - B_о}{B_ф} \right) \cdot 100\,\%. \qquad (4.11)$$

Для обратного контраста, т. е. при $B_ф$ меньше $B_о$

$$K = \left(\frac{B_о - B_ф}{B_о} \right) \cdot 100\,\%. \qquad (4.12)$$

Порог контрастной чувствительности глаза изменяется с изменением яркости поля адаптации и связан с такими характеристиками зрения, как инерция и острота зрения. От контраста, углового размера изображения, яркости поля адаптации и времени наличия изображения в поле зрения зависит порог видимости. Увеличение яркости поля адаптации и площади маркируемого символа ведет к уменьшению порога контрастной чувствительности глаза.

В число «канонических» контрастов входят:

- *контраст по цветовому тону*. Наиболее сильный контраст обеспечивают красный, синий и желтый цвета в их определенной насыщенности;
- *контраст по светлоте*. Максимально контрастируют белый и черный цвета;
- *контраст теплых и холодных цветовых тонов* обеспечивают красно-оранжевые и сине-зеленые цвета;
- *контраст дополнительных цветов* – максимально интенсивный контраст, но при смешивании эти цвета дают серый цвет;
- *контраст по насыщенности* создается разной интенсивностью цветов.

Рекомендуемая контрастность составляет от 65 до 95 %, а оптимальная (в условиях длительной работы) – от 85 до 95 %.

4.9.3. Информационные характеристики зрительного анализатора

Объем восприятия. Количество воспринимаемой зрительной информации вычисляется по формулам

$$F(\text{з}) = \sum_{i=1}^{N} I(i)/T\,; \qquad (4.13)$$

$$I(i) = n\lg\ 2\,(x - x_)/2y = n\lg 2N(i), \qquad (4.14)$$

где T – время между двумя посылками информации; n – количество измеряемых параметров; x, $x_$ – диапазон измерения контролируемых величин; y – погрешность измерения; $N(i)$ – длина алфавита сообщения.

При равномерном поступлении любых символов количество информации в битах определяется по формуле

$$K_i = n\lg 2N, \qquad (4.15)$$

где n – число правильно опознанных оператором символов; N – число символов, поступающих с лицевой панели для отображения информации.

Пропускная способность. Этот параметр обладает следующими основными свойствами:

- человек не может решать простую задачу на различение одиночных моносигналов, если их число превышает 7;

- при усложнении информации (увеличение числа признаков сигналов, например оттенка и насыщенности цветовых тонов раздражителей) количество воспринимаемой информации увеличивается (с 7 до 11–15 цветов);
- наибольшей пропускной способностью информации обладает зрительный аппарат (5 бит/с), затем слуховой, которые чаще используются в работе оператора;
- перекодирование информации резко снижает пропускную способность оператора;
- перегрузка информацией и дефицит времени также снижают пропускную способность оператора.

Скорость восприятия информации с прибора, или пропускная способность оператора (бит/с), рассчитывается как

$$F_{оп} = K_i/T, \tag{4.16}$$

где T – время отображения (предъявления) информации, с.

Если информация появляется со скоростью $F_и$, то для безошибочной работы системы необходимо выполнение условия $F_{оп} = F_и$, что соответствует прямой *1* на рис. 4.13. Оператор начинает допускать ошибки за пределами интервала 0,1 бит/с $\leq F_и \leq$ 5,5 бит/с (пунктирные линии *2*, *3* на рис. 4.13).

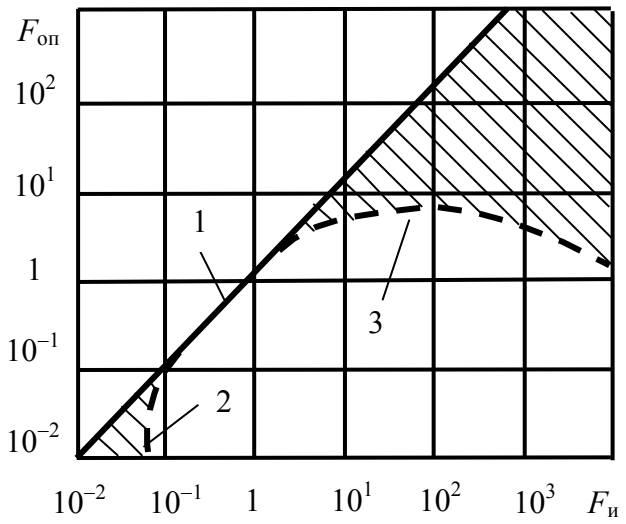


Рис. 4.13. График зависимости пропускной способности оператора от частоты предъявления информации

При $F_и \leq$ 0,1 бит/с ошибки появляются вследствие самопроизвольного отвлечения оператора: он не может постоянно смотреть на индикатор, панель прибора или пульта, на которых ничего не изменяется.

При $F_и \geq$ 5,5 бит/с оператор не успевает усваивать информацию в течение длительного времени из-за утомления. Происходит пропуск символов информации. Если информация предъявляется одновременно от нескольких индикаторов (измерительных приборов), то оператор должен осуществить

поиск нужных ему символов. Увеличение затрат времени будет определяться числом движений глаз и средней длительностью фиксаций.

Таким образом, разрабатывая лицевую панель, конструктор должен предусмотреть согласование потока информации, поступающей с нее, с физиологическими возможностями человека.

Лекция 12

П л а н л е к ц и и

4.10. Особенности слухового восприятия информации.
4.11. Характеристика условий работы человека-оператора.
4.12. Требования к уровню шума и вибрации в помещениях с электронной аппаратурой.
4.13. Требования к микроклимату в помещениях с электронной аппаратурой.
4.14. Требования к рабочему месту оператора.
Л и т е р а т у р а: [14, 15].

4.10. Особенности слухового восприятия информации

Слуховое восприятие обеспечивает человеку-оператору прием звуковых колебаний от источника звука. Слух человека способен воспринимать звуковые колебания в частотном диапазоне от 16 до 20000 Гц. Звуки с частотами ниже 16 Гц относятся к *инфразвуку*, с частотами выше 20000 Гц – к *ультразвуку*.

Степень восприятия звука ухом человека зависит от частоты, энергетической характеристики звукового поля и состояния слухового аппарата человека в данный момент времени.

Громкость – субъективный аналог интенсивности звука, оцениваемой в единицах звуковой энергии (Вт/см) или в относительных единицах – децибелах (дБ).

В табл. 4.6 представлена усредненная оценка действия звука различной интенсивности на частоте 1000 Гц на человека.

Как правило, источником звуковой энергии являются поверхности конструкций, совершающие колебания, которые и создают акустическое поле шумящего объекта. Образующееся акустическое поле характеризуется звуковым давлением P (Па) и колебательной скоростью v (м/с), возникающими в точке воздушной среды при прохождении через нее звуковой волны.

Энергетическими характеристиками акустического поля являются:

- *интенсивность* I (Вт/м^2) – количество энергии упругих волн, проходящих за единицу времени через единицу поверхности в направлении нормали;

- *мощность излучения* $N_{изл}$ (Вт) – количество энергии, проходящей за единицу времени через замкнутую поверхность, огибающую поверхность звука;
- *плотность энергии звуковых волн* W (Вт · с/м$^{-3}$) – количество энергии, содержащееся в объеме среды.

Таблица 4.6

Усредненная оценка действия шума на человека-оператора

Субъективная оценка	Уровень звука, дБ	Сила звука, Вт/м^2
Порог слышимости	0	10^{-12}
Шум заметен	40	10^{-8}
Шум беспокоит	50	10^{-7}
Шум мешает	70	10^{-5}
Разговор не возможен	90	10^{-3}
Шум подавляет и раздражает	120	10^{0}
Болевой порог	130	10^{2}

Важную роль при расчете акустического поля имеет характеристика направленности звукоизлучения источника, т. е. угловое пространственное распределение интенсивности звука. Применяется также оценка уровня шума (дБ), однако при конструкторских расчетах ее используют редко.

4.11. Характеристика условий работы человека-оператора

Мобилизационные возможности каждого человека зависят от многих факторов, основными из которых являются комфортные условия работы (рис. 4.14).

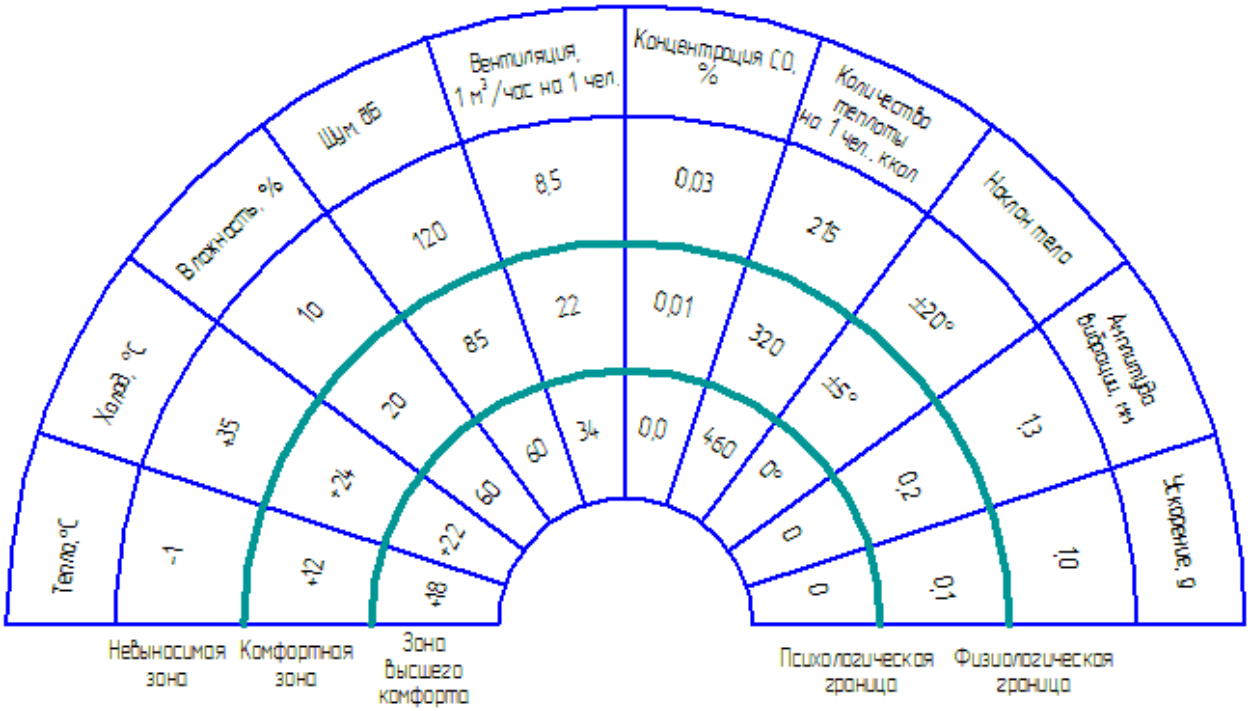


Рис. 4.14. Номограмма для определения условий работы

Однако иногда стремление к обеспечению комфортных условий приводит к негативным последствиям.

4.12. Требования к уровню шума и вибрации в помещениях с электронной аппаратурой

Длительное воздействие системы акустических шумов различного происхождения и вибрации отрицательно влияет на общее функциональное состояние человека-оператора.

Таблица 4.7

Допустимые нормы вибрации на рабочих местах с ЭС

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Допустимые значения			
	по виброускорению		по виброскорости	
	$мс^{-2}$	дБ	$мс^{-1}$	дБ
2	5,3·10	25	4,5·10	79
4	5,3·10	25	2,2·10	73
8	5,3·10	25	1,1·10	67
16	1,0·10	31	1,1·10	67
31,5	2,1·10	37	1,1·10	67
63	4,2·10	43	1,1·10	67

При работе с ЭС уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБ, а уровень вибрации – допустимых значений, приведенных в Санитарных нормах вибрации на рабочих местах (табл. 4.7).

Оборудование (принтеры, ксероксы и т. п.), уровень шума которого превышает нормированные, должно располагаться в отдельных помещениях.

Для снижения уровня шума используют звукопоглощающие материалы (например, занавески из плотной ткани).

4.13. Требования к микроклимату в помещениях с электронной аппаратурой

В помещениях с ЭС (системы управления, ЭВМ и др.) должны обеспечиваться оптимальные для человека-оператора параметры микроклимата, приведенные в табл. 4.8. Скорость движения воздуха при этом должна быть не более 0,1 м/с.

Для обеспечения необходимых параметров микроклимата помещение должно быть подключено к системе отопления и оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Для повышения влажности воздуха следует применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые дистиллированной или кипяченой питьевой водой.

Уровни положительных и отрицательных аэроионов в воздухе помещений должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 4.9.

Таблица 4.8

Оптимальные и допустимые параметры температуры и относительной влажности воздуха в помещениях с ЭС

Оптимальные параметры		Допустимые параметры	
Температура, °С	Относительная влажность, %	Температура, °С	Относительная влажность, %
19 20 21	62 58 55	18 22 –	39 31 –

Таблица 4.9

Уровни ионизации воздуха помещений

Уровни ионизации воздуха	Число ионов в 1 см^3 воздуха	
	n^+	n^-
Минимально допустимый Оптимальный Максимально допустимый	400 1500–3000 50000	600 3000–5000 50000

Содержание вредных химических веществ в атмосфере помещений не должно превышать среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха.

4.14. Требования к рабочему месту оператора

При эксплуатации ЭС (ПЭВМ, распределительная вычислительно-телекоммутационная сеть и т. д.) компоновка и организация рабочего места человека-оператора должны прежде всего основываться на учете его антропометрических и психофизических параметров.

Перед разработкой плана размещения оборудования необходимо установить:

- основные ограничения на размещение оборудования, исходя из спецификации ЭС и условий его эксплуатации;
- перечень элементов, узлов, блоков и элементов контроля и управления, которые должны быть доступны человеку-оператору при обслуживании вычислительной техники;
- перечень необходимых зрительных и звуковых информационных указателей;
- требования к внешним условиям работы (шумы, вибрации, климат).

После определения данных показателей можно приступать к планировке рабочего места, размещению необходимого основного и вспомогательного оборудования и т. п. При этом следует исходить из общих базовых требований к размерам рабочих зон, приведенным на рис. 4.15.

Под *рабочим местом* понимается зона, которая оснащена необходимыми техническими средствами и служит для выполнения должностных обязанностей человека-оператора. При эксплуатации современного ЭС рабочие

места можно разделить на две категории: рабочее место человека-оператора, выполняющего чаще всего диспетчерские функции, и рабочее место вспомогательного персонала (руководство, программисты, ремонтники, технический персонал).

При проектировании рабочего места необходимо учитывать рабочую позу человека, требования к углу обзора, наличие функциональных рабочих поверхностей (например, для письма или монтажа) и пространства для размещения оборудования, конфигурацию и размеры органов управления, последовательность поступления и вид обработки информации, частоту использования органов управления и их связь с элементами индикации.

Рабочие зоны, в зависимости от пространственного положения человека-оператора, делят на зоны для работы стоя и сидя (рис. 4.16).

При конструировании рабочего места у стоек для работы стоя все пределы досягаемости и максимального поля зрения должны приниматься из расчета нормальной работы оператора низкого роста. В этом случае высокий человек достанет любой орган управления. Если же рабочее место представляет собой закрытое помещение, то его нужно проектировать под оператора высокого роста, тогда люди среднего и низкого роста будут чувствовать себя в таком помещении комфортно.

Схемы размещения рабочих мест должны учитывать расстояние между рабочими столами с дисплеями (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), которое должно быть не ме-нее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов –не менее 1,2 м. Рабочие места по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.

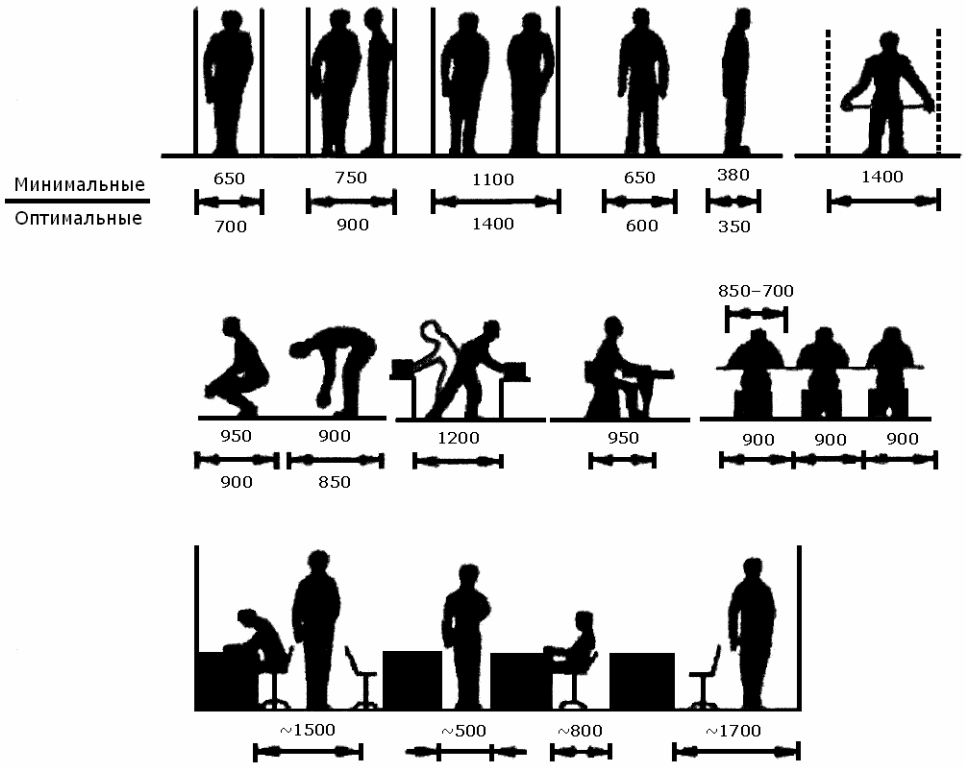


Рис. 4.15. Рекомендуемые размеры рабочих зон

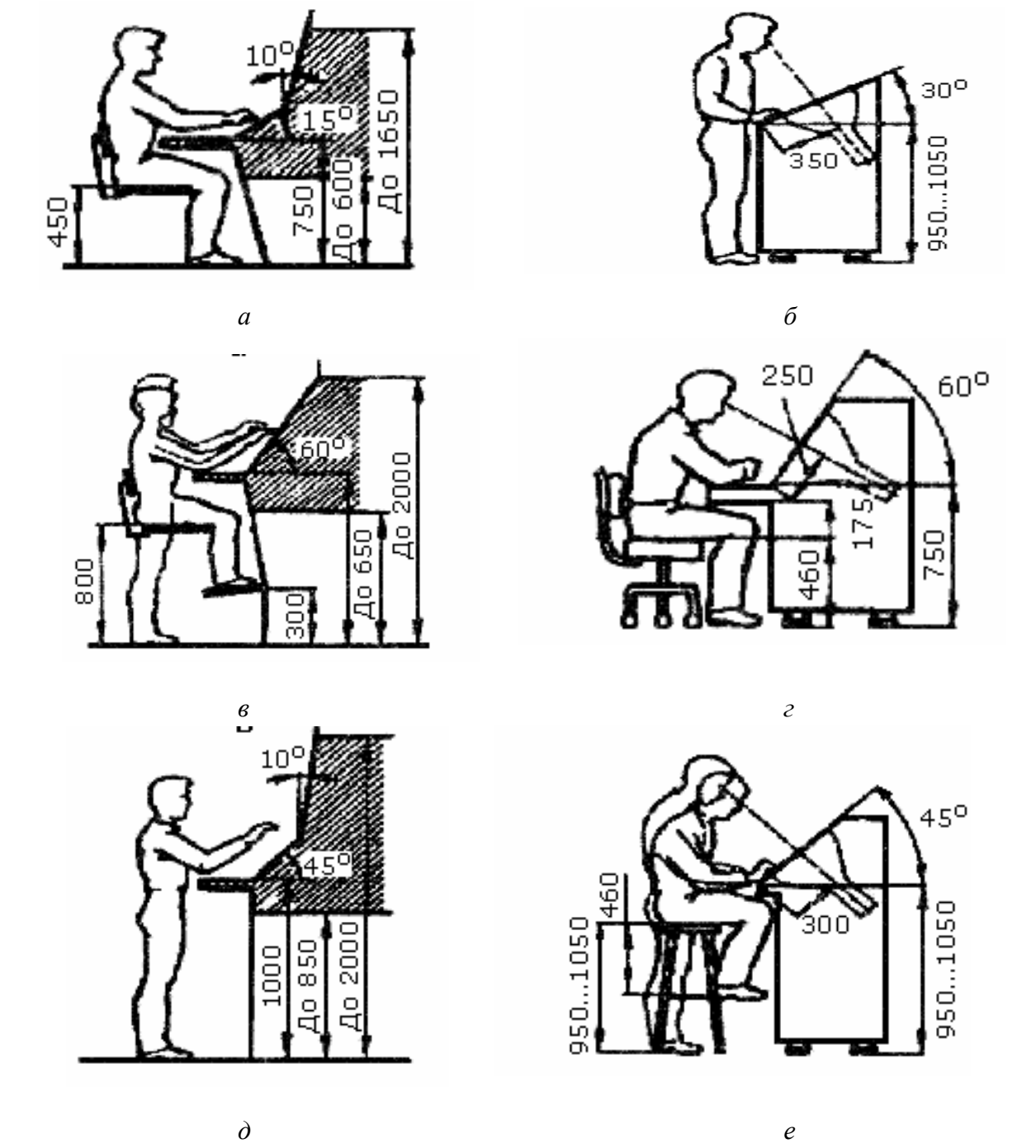


Рис. 4.16. Рабочее место человека-оператора
при работе с визуальными средствами отображения информации

При конструировании оборудования и организации рабочего места человека-оператора при работе сидя следует обеспечить соответствие конструкции всех элементов рабочего стола и их взаимного расположения эргономическим требованиям с учетом характера выполняемой пользователем деятельности, комплексности технических средств, форм организации труда и основного рабочего положения оператора.

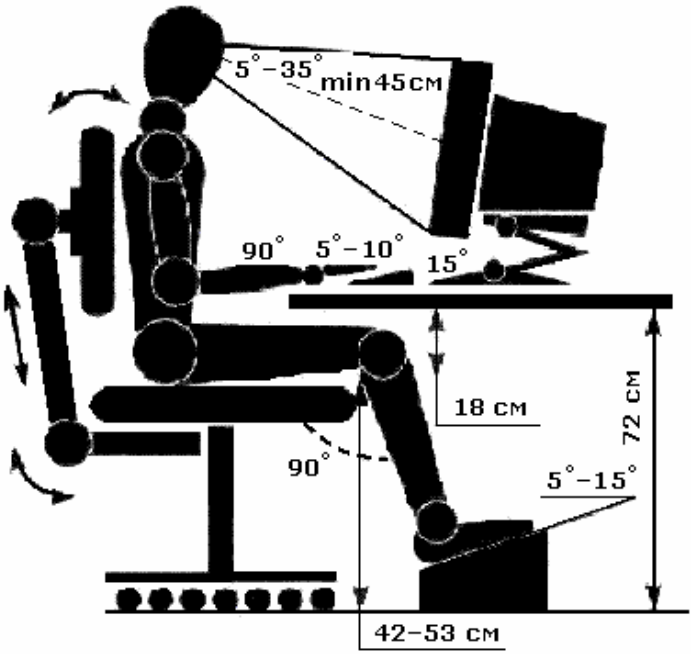


Рис. 4.17. Положение человека-оператора при работе сидя за рабочим столом

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей (размер ПЭВМ, дисплея, клавиатуры и т. д.), характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики (рис. 4.17). Стол должен быть достаточно большой, чтобы уместить клавиатуру, мышь, дисплей и рабочие документы. Экран монитора следует располагать от глаз человека-оператора на расстоянии 600–700 мм, но не ближе 500 мм с учетом установленной разрешающей способности и размеров символов. Верхняя граница расположения монитора – не ниже 15 см от уровня глаз, монитор и держатель для документов, как правило, размещаются непосредственно перед пользователем, а не сбоку, примерно на расстоянии вытянутой руки от пользователя. Для поддержания запястий в ненапряженном положении можно использовать специальные подставки или держатели для клавиатуры и мыши.

Лекция 13

П л а н л е к ц и и

4.15. Техническая эстетика в проектировании ЭС.
4.16. Компоновка передних панелей ЭС.
4.17. Выбор цветофактурных решений.
Л и т е р а т у р а: [14, 15].

4.15. Техническая эстетика в проектировании ЭС

Дизайн (от англ. *design* – проектировать, конструировать) – художественное конструирование предметов, интерьеров; проектирование эстетического облика предметной среды.

Дизайн базируется на достижениях научно-технического прогресса

и синтезирует подходы самых разнообразных областей человеческой деятельности – техники, эстетики, эргономики, психологии, социологии, экономики и др.

Теоретическую основу дизайна составляет техническая эстетика, а ее практической реализацией является художественное конструирование изделий, обладающих эстетическими свойствами и предназначенных для непосредственного использования человеком.

Техническая эстетика изучает общественную природу и закономерности развития дизайна, основополагающие принципы и методы художественного конструирования, проблемы стиля и мастерства.

В узком смысле дизайн отождествляют с *художественным конструированием*. В отличие от искусства в обычном понимании дизайн обусловлен

и ограничен требованиями технической эстетики.

Лицевые панели ЭС являются не только средством технического взаимодействия человека с аппаратурой, но и объектом эстетического восприятия. Очевидно, что на эффективность работы оператора существенно влияет степень его внимания, от которого, в свою очередь, зависят чувствительность анализаторов, величина поля зрения, продуктивность запоминания, скорость двигательных реакций и пр. Внимание человека, как известно, тесно связано с его эмоциональным состоянием, на которое можно воздействовать различными художественными средствами. Усилия дизайнера направлены на создание средствами композиции такой образной выразительности лицевых

панелей ЭС, которая способствовала бы психологическому настрою на активную деятельность и обеспечивала бы функциональный комфорт оператора.

Основу любого изделия, в том числе и ЭС, как совокупности форм

составляют тектоника и объемно-пространственная структура.

В *тектонике* проявляется взаимообусловленность конструкции и формы, выраженная в конкретном материале, – то наиболее существенное, что определяет *композицию* любого изделия.

Объемно-пространственная структура выражается в характере взаимосвязи элементов формы изделия, взаимном расположении его частей,

пропорциях, ритмическом расположении элементов формы и т. д.

В целом единство характера композиционного решения определяется гармоничной целостностью, композиционным равновесием, симметрией (асимметрией), статичностью (динамичностью).

Гармоничной целостности достигают путем установления взаимосвязи и соподчинения главных и второстепенных элементов формы изделия, которые, усиливая друг друга, образуют в целом композиционное равновесие. Например, в дисплеях экран занимает доминирующее положение, являясь центром композиции, все другие элементы (клавиатура, обрамление) дополняют его, выражая единое композиционное целое. Усилить соподчинение можно выделением главного элемента из соподчиненных размерами, цветом, характером членения и т. д.

Важное значение для достижения гармоничной целостности имеет *симметрия* (*асимметрия*) – организация элементов конструкции по отношению к ее центру или осям. Симметрия подчеркивает статичность конструкции, асимметрия придает конструкции динамичность.

Статичность выражает состояние покоя, постоянство формы во всем ее строе. Динамичность, наоборот, показывает степень контрастности отношений величин по трем координатам пространства.

Перечисленные свойства определяют образную выразительность композиции и достигаются различными композиционными средствами – *единым приемом, пропорциями*, *масштабом*, *метрическим повтором и ритмом*, *цветом*, *светотенью*, *пластикой* и т. д. Однако действенность средств композиции обусловлена особенностями психологии эстетического восприятия. Эти вопросы до конца еще не изучены. Установлено, что восприятие обладает структурностью и проявляется в том, что зрительная система человека группирует элементы композиции по размерам, форме, контрасту, цвету, фактуре, плотности расположения, направлению главных динамических осей (*динамическая ось* – направление деформации фигур, тел, поверхностей), причем движение глаз преимущественно происходит в направлении от бóльших элементов к меньшим, от более контрастных к менее контрастным

и т. д. Особенности биомеханики глаз таковы, что движение глаз по наклонным направлениям осуществляется медленнее и менее точно, чем по горизонталям и вертикалям. Отсюда требования рядности и упорядоченности расположения элементов на лицевой панели, которые удовлетворяются размещением их на основе модульной координации размеров.

Для достижения гармонической целостности ЭС необходимо соблюдать основные принципы построения композиции: *повторяемость*, *соподчиненность*, *соразмерность*, *равновесие и единство*.

Принцип повторяемости реализуется единым композиционным приемом, который присущ всем элементам и конструкции в целом. Единый композиционный прием чаще всего достигается единым подходом к формообразованию всех элементов. Однако нужно учитывать, что при большой схожести элементов композиция может стать монотонной, невыразительной, что вызовет снижение внимания оператора.

а *б*

Рис. 4.18. Пример асимметричного расположения элементов на лицевых панелях бытовых ЭС

Рис. 4.19. Организация повторов – вертикального и горизонтального

Для устранения монотонности можно придать динамичность лицевой панели асимметричным расположением элементов, разнообразием их форм и различием размеров. При этом стремятся так организовать композицию, чтобы направление обзора осуществлялось от краев к центру панели соответствующим расположением второстепенных элементов относительно главных элементов (рис. 4.18, *а*), если это не противоречит эргономическим требованиям. Чтобы динамическая композиция не выглядела хаотической, непараллельность динамических осей выправляют цветовым зонированием (рис. 4.18, *б*).

При размещении на лицевой панели большого количества однотипных элементов для их упорядочения используют метрический повтор (шаг повто-

ра постоянный) и ритм (шаг повтора переменный). На рис. 4.19 показана такая организация лицевой панели блока. Так как при мгновенном наблюдении оператор способен воспринимать ограниченное число характерных различий, требуется тщательная проработка метрических повторов.

Принцип соподчиненности осуществляет упорядочение элементов относительно композиционного центра. Если принцип повторяемости основан на сходстве, то принцип соподчиненности – на различии свойств элементов. Использование этого принципа позволяет найти оптимальное соотношение между главными и второстепенными элементами композиции. Выявление центра композиции достигается: членением плоскости лицевой панели таким образом, чтобы центр композиции являлся ее главным элементом; выбором формы, отличной от формы остальных элементов; размещением в центре композиции; выделением цветом, фактурой.

Созданию соподчиненности, иерархии зон внимания способствует применение различных средств композиции: *пропорций*, *масштаба*, *ритма*, *контраста*, *нюанса*, *цвета*, *пластики, светотени* и др.

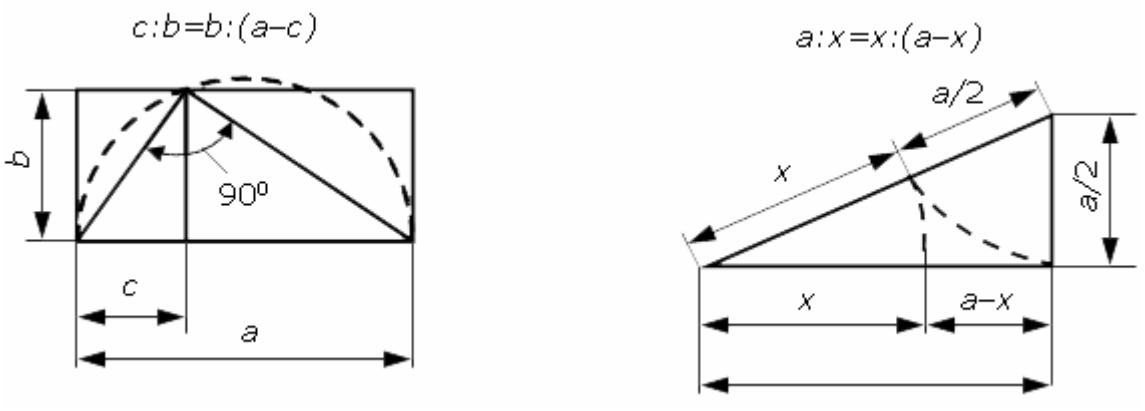
Принцип соразмерности определяет соответствие элементов и частей изделия между собой и целым. Для достижения соразмерности используют пропорции и масштаб, а также другие средства композиции.

Существуют арифметические, геометрические и гармонические пропорциональные системы. В *арифметических* (*модульных*) *пропорциях* связь и определение размеров частей между собой и целым выражается через единый заданный размер – модуль. Модульные пропорции широко используются при унификации и стандартизации размеров.

Геометрические пропорции проявляются в подобии форм (рис. 4.20, *а*).

Интерес представляет геометрическая пропорция, состоящая из трех элементов – a, b, c. Общий член b называется *средней пропорциональной*, или *средней геометрической*, *величиной*.

С древних времен в комбинаторике формообразования наибольшее распространение получили различные гармонические пропорции. Установлено, что пропорционирование в классической архитектуре основано на иррациональных числах, среди которых выделяют *золотое сечение*: деление целого на две неравные части пропорционально, когда целое так относится к своей бóльшей части, как бóльшая часть относится к меньшей части. Это отношение постоянно и равно 1 : 0,618 = 0,618 : 0,382.



а *б*

Рис. 4.20. Графическое построение основных видов пропорций:
а – геометрической; *б* – золотого сечения

Деление отрезка в золотом сечении осуществляется графически с помощью прямоугольного треугольника с соотношением катетов 1:2 (рис. 4.20, *б*). Ряд золотого сечения выражается следующими числами: 0,09; 0,146; 0,236; 0,382; 0,618; 1,000; 1,618 и т. д. Если этот ряд приближенно выразить в целых числах, то получится ряд Фибоначчи: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34 и т. д. Ряд обладает интересным свойством: любой его член равен сумме двух предыдущих, а отношение соседних членов приближается к золотому сечению.

Особую выразительность композиции придают контраст, нюанс и пластика. *Контраст* позволяет активнее выразить функциональные и конструктивные особенности элементов. Элементы, которые нужно выделить, обычно имеют отличную от других элементов форму и окрашены в контрастирующие цвета. *Нюанс*, наоборот, выражается незначительным различием элементов конструкции по форме, размерам и цвету. В отличие от контраста нюанс и пластика являются сферой чисто художественного осмысливания формы и материала изделия.

Принцип равновесия требует, чтобы все части композиции и целое были уравновешены относительно пространственных осей и центра композиции. Установлено, что вертикальная и горизонтальная оси неравноценны. Вследствие действия гравитационных сил главную роль играет вертикальная ось. От соотношения центра масс и композиционного центра зависит зрительная уравновешенность лицевой панели. Особенности восприятия таковы, что кажущейся максимальной массой будут обладать те элементы, у которых размеры по трем координатам приближаются к равенству: куб, шар и т. д. Вертикальные формы воспринимаются более тяжелыми, чем горизонтальные и наклонные. Кроме того, кажущаяся масса элемента зависит от его положения: она возрастает пропорционально расстоянию от центра композиции.

Следует учитывать также оптические иллюзии (рис. 4.21, *а*, рис. 4.21, *б*, рис. 4.21, *в* , рис. 4.21, *г*, рис. 4.21, *д*, рис. 4.21, *е*, рис. 4.21, *ж*). Особенно

важно соблюдение принципа равновесия в асимметричных композициях, где необходимо находить такие пропорции между неравными элементами, чтобы не создавалось впечатление неустойчивости.

Принцип единства является как бы суммирующим, итоговым и определяет стиль всего изделия. Он проявляется в определенных тектонических связях формы, конструкции и материала.

Современный стиль в ЭС основывается на использовании всех средств, обеспечивающих функциональный комфорт оператору. Единое стилевое решение лицевой панели ЭС достигается за счет устойчивых признаков формообразования, единого способа декоративного оформления, определенного цветофактурного решения, единой системы графических изображений, однотипности комплектующих элементов и т. д.

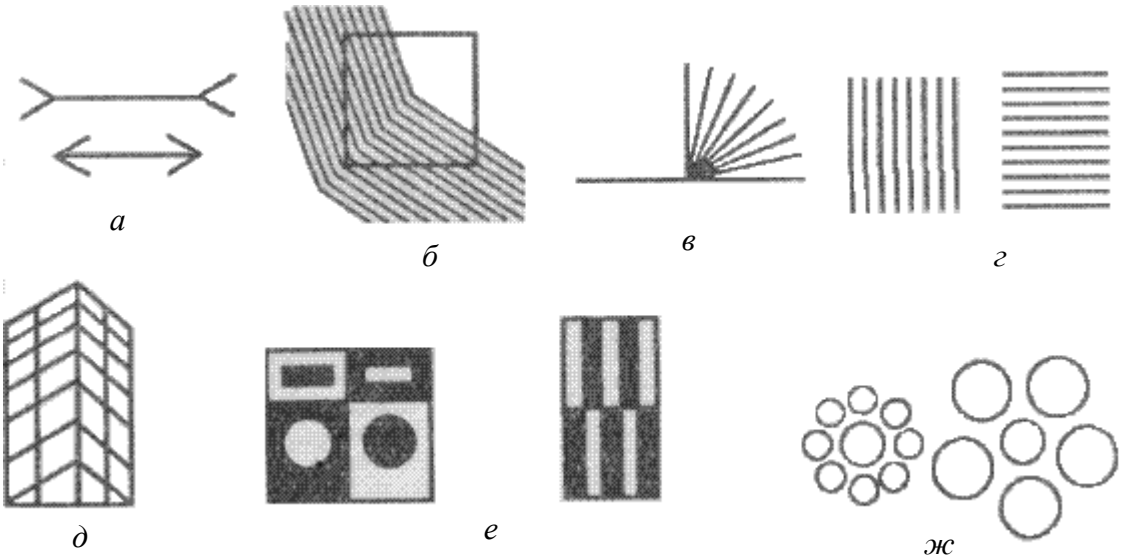


Рис. 4.21. Оптические иллюзии: *а* – иллюзии Мюллера – Лайера; *б* – кажущаяся деформация сторон квадрата; *в* – зрительное неравенство углов; *г* – кажущиеся неравными продольно и поперечно зачерченные пространства; *д* – кажущиеся расхождения кверху вертикальных параллельных линий значительной протяженности; *е* – корректировка зрительного увеличения или уменьшения равновеликих фигур, окрашенных в белый и черный цвета; *ж* – кажущееся изменение площади одинаковых кругов, помещенных среди кругов разного размера

Рис. 4.22. Вид системного блока ПЭВМ с откидными крышками

Для обеспечения функционального комфорта оператора на лицевой панели не должно быть ничего лишнего, не несущего информацию оператору или отвлекающего его внимание. Исходя из этого, используют комплектующие элементы, которые не имеют видимых снаружи крепежных деталей, а также фальшпанели. Элементы индикации, контроля и управления, имеющие второстепенное значение (например, «информация по требованию»), могут быть закрыты специальными откидными или выдвижными панелями (рис. 4.22).

4.16. Компоновка передних панелей ЭС

Лицевые панели ЭС информационно насыщены и содержат десятки, а пульты управления – сотни различных элементов, структурно объединенных в зоны индикации, управления и коммутации. Несмотря на специфику, эти зоны пространственно почти всегда перекрываются, так как они функционально связаны между собой.

Известно, что психофизиологические возможности человека по восприятию информации и скорость выполнения им команд управления ограничены. Так, число одновременно успешно контролируемых человеком информационных объектов не превышает 7 ±2, что объясняется ограниченным объемом оперативной памяти. Учитывая эти особенности, организацию элементов на лицевых панелях осуществляют по принципам группировки, взаимосвязи и приоритета.

Принцип группировки. При большом количестве однотипных элементов на лицевой панели их разбивают на несколько визуально отличных групп по логическому или формальному признаку. При логической группировке элементы связаны общностью выполняемых функций. Если такое объединение невозможно, то проводится объединение по формальному признаку, т. е. по внешней однотипности элементов. Очевидно, группировка эле-

ментов по логическому признаку по сравнению с формальным обеспечивает больший функциональный комфорт оператору.

Принцип взаимосвязи. Объединение элементов производится в соответствии с функциональными связями между индикаторами и органами управления как внутри каждой функциональной группы, так и с учетом алгоритма их использования в процессе работы. При этом не должен нарушаться *принцип стимула и реакции*: увеличению параметра на индикаторе должно соответствовать движение органа управления вверх, вправо или по ходу часовой стрелки для поворотных органов управления.

Принцип приоритета. Группировка элементов по этому принципу осуществляется по оперативной значимости элементов, т. е. по частоте обращения к ним в процессе работы. Элементы и функциональные группы, получившие приоритет, располагаются в оптимальных зонах доступности и видимости. При организации лицевых панелей учитывают функциональную асимметрию зрительной системы человека: непроизвольная фиксация взгляда в вертикальной плоскости распределяется неравномерно. Если разбить плоскость лицевой панели на четыре квадранта, то в верхней части будет сосредоточено почти 3/4 всего количества фиксаций глаза, причем максимум будет приходиться на левый верхний квадрант, где и рекомендуется размещать наиболее важные элементы.

Существует ощутимая разница во времени считывания информации в левой и правой частях лицевой панели при углах обзора свыше 25° от центральной оси: левая сторона «считывается» медленнее.

Зона управления тесно связана с информационной зоной. Расположение элементов в этой зоне в первую очередь должно подчиняться алгоритму работы оператора с лицевой панелью. Значительно упрощают работу оператора мнемосхемы.

Функционально связанные элементы управления и индикации должны располагаться вблизи друг от друга так, чтобы не мешать обзору индикатора: при работе правой рукой элемент управления должен находиться снизу или справа от соответствующего индикатора, при работе левой рукой – снизу или слева от индикатора. Предпочтительная направленность движений и обзора слева направо и сверху вниз.

Правильное расположение элементов формы должно способствовать быстрому определению, какие органы управления и индикации взаимосвязаны, какое состояние может вызывать каждый орган управления. Оператор должен в любой момент легко узнать, в каком режиме находится работающий прибор, каковы величины параметров. Поэтому ручные органы управления располагаются так, чтобы рука не закрывала рядом расположенного индикатора.

Располагая функциональные группы определенным образом на лицевой панели и выравнивая, соподчиняя расположение элементов этих групп

между собой, конструктор строит композицию наиболее удобными ему методами итерационных стратегий или последовательных приближений.

При любом варианте каждый регулятор располагается непосредственно под связанным с ним индикатором: справа – для правой руки, слева – для левой руки. Если управлять можно любой рукой, то используется симметричное расположение индикатора и регулятора.

При размещении регуляторов и индикаторов на разных панелях необходимо, чтобы:

- органы управления занимали положение, соответствующее положению связанных с ним индикаторов;
- панели с регуляторами и индикаторами не размещались друг против друга;
- все индикаторы располагались вверху, а органы управления – внизу.

Важно отметить, что построение композиции – многоитерационный процесс, основанный не только на использовании закономерностей гармонии, но и на просмотре большого количества вариантов размещения по функциональному признаку.

Следует отметить, что при организации лицевых панелей учет функциональных связей и эргономических требований является первоочередным и необходимым, но недостаточным для достижения высоких эстетических качеств, при стремлении к которым нужно использовать приемы и средства художественного конструирования.

Для разработки композиции исходными данными являются: полный состав элементов (включая маркировку), входящих в нее, и форма изделия. Количественный состав функциональных элементов, располагаемых на панели (индикаторы, регуляторы, коммутационные изделия и т. п.), выявляется после проработки общей компоновки конструкции. Необходимое информационное наполнение (надписи, символы) зависит от типа изделия (например, для бытовой ЭС это торговое наименование, товарный знак, дата выпуска, отметка ОТК и т. д.) и обеспечения удобства работы оператора (оформление шкал, функциональное назначение органов управления и коммутации, обозначение режимов работы и диапазона измерений и пр.).

Первый этап разработки композиции – формирование функциональных групп типа «индикатор – символ – регулятор». Независимо от типов органов управления и индикации и вида надписей они группируются в определенную пространственную структуру.

За основу выбора той или иной пространственной структуры первоначально выбирается *принцип функциональной организации*, упомянутый выше. Это хорошо видно на примерах компоновки передних панелей автомобильных магнитол. На рис. 4.23 показано формирование внешней структуры передней панели автомагнитолы PANASONIC J04P. Назначение органов управления приведено в табл. 4.8.

Как видно из рис. 4.23, органы управления магнитофоном («Извлечение кассеты», «Перемотка влево», «Перемотка вправо») сгруппированы ря-

дом с кассетоприемником (зона I). Общие органы управления – «Громкость» и «Тембр» сгруппированы вместе (зона II). Остальные органы управления относятся к настройке радиоприемника.

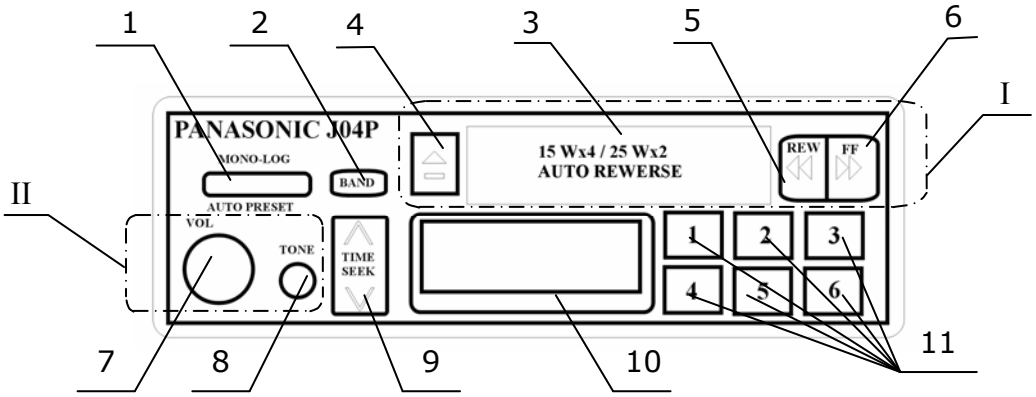


Рис. 4.23. Композиционное решение для передней панели автомагнитолы PANASONIC J04P

Таблица 4.8

Обозначение органов управления автомагнитолы PANASONIC J04P

№	Маркировка	Исполнение	Выполняемые функции
1	*Mono-log*	Кнопка	Сканирование
2	*Band*	Кнопка	Выбор диапазона
3	–	–	Кассетоприемник
4	Δ	Кнопка	Извлечение кассеты
5	*REW* <<	Кнопка	Перемотка влево
6	*FF* >>	Кнопка	Перемотка вправо
7	*Vol*	Ручка	Громкость
8	*Tone*	Ручка	Тембр ВЧ/НЧ
9	*Time seek*	Кнопка	Изменение частоты
10	–	–	Дисплей
11	1–6	Кнопка	Выбор станций из памяти

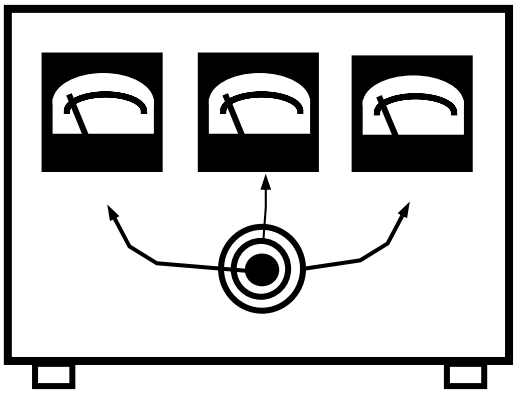


Рис. 4.24. Размещение индикаторов и концентрических органов управления

Если функциональных групп много, то помимо пространственной группировки (компоновки) применяется цветографическая группировка – выделение отдельных зон на панели цветом или контрастными по отношению к фону линиями.

Следует учитывать, что нельзя располагать рядом органы управления для текущей работы и аварийных ситуаций. В случае применения концентрических поворотных ручек, связанных с индикаторами (рис. 4.24), центральная ручка управляет крайним левым индикатором, средняя – средним, периферическая – крайним правым. Аналогично, от периферии к центру располагают и надписи, относящиеся к соответствующим органам управления.

Эксплуатационные надписи должны помещаться рядом с соответствующим органом управления или контроля. Для удобства чтения предпочтительно горизонтальное расположение символов над элементом или справа от него. Преимущество расположения над элементом в том, что при манипуляции с органами управления надпись не будет закрываться рукой. Маркировка кнопок или ручек управления менее предпочтительна и применяется для малогабаритной аппаратуры, улучшения внешнего вида или повышения технологичности.

В отличие от надписей *линии* применяются:

- для выделения функциональных зон;
- как связующие элементы при неопределенном пространственном расположении органов управления;
- для акцентирования положения органа управления (например, группирование диапазонов измерения с разной размерностью).

На рис. 4.25 приведены примеры указанного использования линий на фрагменте передней панели осциллографа С1-68. Линия *1* объединяет элементы, связанные с каналом *Y* (отклонение по вертикали). Объединение в дополнительные функциональные группы – входного разъема и переключателя вида входного напряжения, основного переключателя коэффициента усиления и декадного переключателя (1 или 10) – произведено линиями *2*. Линии *3* регламентируют размерность коэффициента усиления – *V*/*cm* (с левой стороны) и *mV*/*cm* (справа).

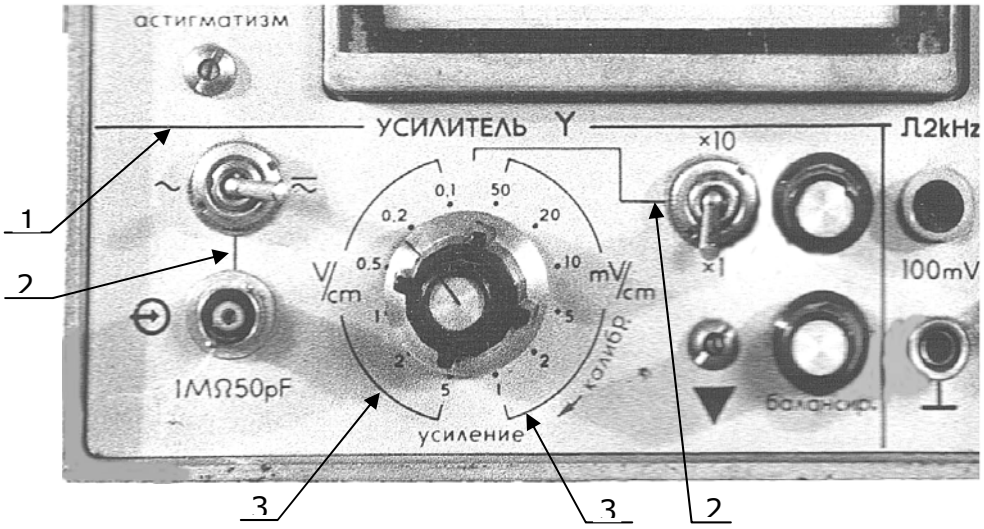


Рис. 4.25. Реализация объединения в функциональную группу
и выделения связей элементов с помощью маркируемой линии

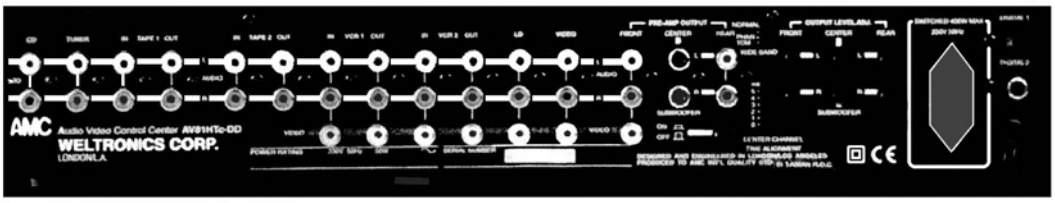


Рис. 4.26. Реализация объединения выходных гнезд в функциональную группус помощью маркируемой линии

Рис. 4.27. Реализация объединения в функциональную группу с помощью надписей

На рис. 4.26 показано использование линий как группирующих элементов на задней панели многоканального усилителя фирмы TECHNICS.

Объединяющими в функциональную группу отдельных элементов могут служить не только линии, но и надписи. Пример такого решения для венгерского источника питания ТЕС-9 приведен на рис. 4.27.

Основная цель при создании композиции – создание единого (целостного) восприятия изделия. Один из основных способов достижения этой цели – соблюдение визуального равновесия в расположении отдельных элементов и частей лицевой панели. При достижении равновесия формы разрабатываемая конструкция зрительно устойчива.

Создание композиционного равновесия может осуществляться как в симметричных, так и в асимметричных формах. При этом симметрия является одним из наиболее ярких и наглядно проявляющихся свойств композиции. Различают зеркальную, осевую, переносную и орнаментную симметрию. Симметрия при разработке лицевых панелей для радиоэлектронных устройств, как правило, достигается в асимметричных формах, поскольку все размещаемые элементы имеют различные габариты, конструктивное исполнение и цветовое решение.

4.17. Выбор цветофактурных решений

Большое значение во внешнем оформлении имеет цвет, обладающий свойством изменять восприятие размеров предметов и дающий таким образом возможность модифицировать общую композицию. Так, белый и желтый цвета увеличивают размеры, а синий, коричневый и черный – уменьшают. Кроме того, на зрительное восприятие влияет и яркость: чем ярче цвет, тем меньшую площадь должна занимать окрашенная им поверхность.

Более подробно на выборе цветофактурных решений остановимся при рассмотрении вопросов применения лакокрасочных покрытий.

Лекция 14

П л а н л е к ц и и

4.18. Кодирование визуальной информации.
4.18.1. Алфавитно-цифровая маркировка.
4.18.2. Символьная маркировка.

Л и т е р а т у р а: [14,48].

4.18. Кодирование визуальной информации

Вся информация, наносимая на изделие и его составные части, электрический монтаж, тару и упаковку, кодируется в том или ином виде. Для маркирования ЭС наиболее часто применяют следующие способы представления данных: *алфавитно-цифровой, условными символами или пиктограммами и цветом*. Штриховыми кодами маркируются обычно тара и упаковка.

На потребительской упаковке общеинформативную и рекламную функцию часто выполняют рисунки.

Способ кодирования определяется самим маркируемым изделием (его назначением, габаритными размерами и др.), особенностями работы оператора, включая его квалификацию, и типом представляемой информации – качественная или количественная. При выборе вида алфавита следует опираться на сложившиеся и проверенные опытом знания человека. Это способствует хорошей ассоциативности (по форме, цвету, содержанию и т. п.) с обозначаемыми предметами и процессами, повышает скорость и точность декодирования. Так, например, *буквы*, используются для передачи качественной информации, *цифры* – для передачи количественных характеристик, *цвет* – для определения значимости, *геометрические фигуры* разнообразной формы и размеров – для наглядности.

4.18.1. Алфавитно-цифровая маркировка

Нанесение информации в виде надписей является наиболее традиционным. Надписи выполняются в трех вариантах: полное наименование, сокращенное и аббревиатурное. При этом одинаковые надписи должны быть однотипными, а сокращенные – понятными, т. е. при сокращении слова, его смысл в оставшейся части должен сохраниться.

П р и м е р ы сокращенных надписей:

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПРИЕМНИК – ТЕЛЕВИЗОР;
ЗВУКОВОЙ ПРОЦЕССОР – ЗВУКОПРОЦЕССОР;
ВКЛЮЧЕНО – ВКЛ.;
АВТОМАТ – АТ;
КАЛИБРОВКА – КАЛИБР.

При формировании сокращенной надписи следует помнить, что она должна заканчиваться согласной буквой, в ней должно быть опущено максимальное количество букв и при этом ее нельзя было бы спутать с общепринятыми или другими сокращенными словами.

Аббревиатуры применяют для замены полного наименования прибора и обычно составляют из начальных букв слов:

ВИДЕОМАГНИТОФОН ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ – ВМЦ;
ЗВУКОВОЙ ПРОЦЕССОР – ЗВП.

Однако иногда аббревиатуры отражают не наименование изделия, а его состав. Например, обозначение для радиоэлектронного аппарата, состоящего из тюнера и лентопротяжного механизма, – КАССИВЕР – ТМ.

При замене полных надписей следует учитывать, что одинаковые аббревиатуры могут иметь разную расшифровку.

При маркировании наименования ЭС необходимо избегать недопустимых терминов, принятых для некоторых видов аппаратуры (ГОСТ 26794 и ГОСТ 27418).

Обозначения физических величин выполняются только в сокращенном виде. Для изделий, предназначенных для использования в Российской Феде-

рации, обычно применяется кириллица. Однако для электроизмерительных приборов, в соответствии с ГОСТ 23217, обозначения должны быть на латинском языке.

Выбор типа шрифта определяется объектом (изделие, упаковка, тара), назначением (общеинформативная или нет) и способом его нанесения.

На приборах надписи выполняют специально разработанными для этой цели шрифтами (ГОСТ 26.008, ГОСТ 26.020) или некоторыми типографскими шрифтами по ГОСТ 3489.2 – ГОСТ 3489.8.

Шрифты для нанесения надписей на средства измерений и автоматизации, радиоэлектронную аппаратуру и вычислительную технику (кроме изделий авиационного приборостроения) методом плоской печати устанавливает ГОСТ 26.020. Помимо изделий эти шрифты можно использовать и для маркирования упаковок.

Каждый шрифт включает:

- алфавит – русский, латинский, греческий;
- цифры – арабские и римские;
- знаки – препинания и математические;
- показатели степени;
- индексы.

В зависимости от начертания, по ГОСТ 26.020, рекомендованы шрифты, представленные на рис. 4.28. Основным является шрифт Пр3. При ограниченной площади под надпись или из эстетических соображений применяют Пр41. Для маркирования названия, модели, типа изделия и т. д. рекомендуют шрифты Пр5, ПрК5, Пр/5, ПрК/5.

Пр3 – прямое нормальное полужирное

Пр41 – прямое узкое полусветлое

Пр5 – прямое нормальное жирное

ПрК5 – прямое контурное

Пр/5 – наклонное нормальное жирное

ПрК/5 – наклонное контурное

Рис. 4.28. Начертания шрифтов, наносимых на приборы методом плоской печати

Определяющим для выбора шрифта (кроме начертания) является его размер – высота прописных букв. Он выбирается из ряда: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 30,0; 40,0; 50,0;

60,0; 80,0; 100 мм. При этом шрифты Пр5, ПрК5, Пр/5, ПрК/5 с высотой букв менее 3 мм применять не допускается.

При записи в конструкторской документации обязательно указывается размер шрифта, способ начертания и номер нормативного документа. Например, шрифт высотой 6 мм и начертанием Пр41 условно обозначается следующим образом:

Шрифт 6–Пр41 ГОСТ 26.020–80.

Для нанесения надписей на приборы методом гравирования по ГОСТ 26.008 применяются только два, отличных по начертанию шрифта – Пр3 и Пр41. Гравированием по этим шрифтам не выполняются показатели степени и индексы, а для Пр41, кроме того, и знаки – препинания и математические. Примеры записей в конструкторской документации аналогичны рассмотренным выше, но со ссылкой на ГОСТ 26.008.

Для логотипов, названий фирм-производителей, наименования бытовой ЭС часто применяются свободные стилизованные шрифты, поскольку указанная маркировка носит представительский и рекламный характер (рис. 4.29, рис. 4.30).

Начертание символов может зависеть и от способа нанесения. Например, надписи на таре наносят обычно через трафарет. Этим определяются и начертания рекомендуемых шрифтов, приведенных в ГОСТ 14192.

КГТУ Красноярск *а*

КГТУ Красноярск *б*

КГТУ Красноярск *в*

КГТУ Красноярск *г*

КГТУ Красноярск *д*

КГТУ Красноярск *е*

КГТУ КРАСНОЯРСК *ж*

Рис. 4.29. Примеры стилизованных шрифтов: *а* – AG Galleon Bold; *б* – DS Arabic; *в* – Izhitsa; *г* – Evangelie TT; *д* – Fita Vjaz; *е* – Izhitsa Shadow CTT; *ж* – Slavanskay

Рис. 4.30. Пример свободного стиля шрифта для маркировки наименования устройства кодового доступа в здания и помещения

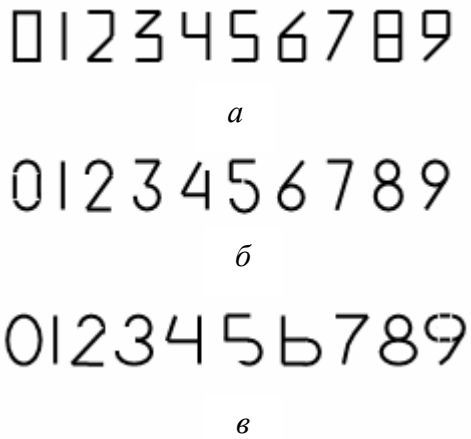


Рис. 4.31. Способы начертания цифр: *а* – шрифт Бергера; *б* – шрифт Макворта; *в* – шрифт Слейта

Цифровые символы, как и буквенные, определяются типом выбранного шрифта, так как стиль оформления надписей на панели прибора должен быть один. Однако при этом более строго подходят к выбору графики цифр, определяющей различимость знаков. Например, при использовании арабского цифрового алфавита возможны ошибки при чтении цифр 7 и 9, 5 и 6, 3 и 5, которые отличаются друг от друга одним или двумя признаками. Так как различимость и опознание цифр зависят от типа и взаимного расположения линий, образующих знак, то хорошо различаются цифры 1, 2, 4, 8, 0. Наибольшей скоростью считывания и точностью опознания обладают цифры, имеющие в своем составе прямые линии.

В зависимости от назначения должны использоваться разные специальные конфигурации цифровых знаков, приведенные на рис. 4.31.

Установлено, что процесс распознавания проходит быстрее при наличии в знаках острых углов и прямых линий. Поэтому применение шрифта Бергера (рис. 4.31, *а*) ускоряет идентификацию цифрового знака. Следует добавить, что такой шрифт легче распознается и при автоматизированном считывании. В случае задачи не считывания, а написания знаков более удобно пользоваться волнистыми линиями без резких перегибов линий и острых углов. Приведенный на рис. 4.31, *б* шрифт Макворта является примером шрифта удобного для написания. При высокой частоте считывания цифрового кода каждая цифра должна иметь специфическую форму и много признаков отличия. Эти условия соблюдены в шрифте Слейта (рис. 4.31, *в*).

4.18.2. Символьная маркировка

Как было сказано, ввиду повышения информативности и уменьшения размеров лицевых панелей изделий ЭС все большую популярность приобретает применение *пиктограмм* – мнемосимволов (специальных графических символов, далее – символов) вместо обычных надписей. Это позволяет получить нужную информацию за более короткое время (более простой процесс

считывания информации за счет привычных ассоциаций). Часто даже словесная информация откладывается в виде образов, а визуальные образы интернациональны: они понятны для людей, говорящих на разных языках. Последнее впрямую влияет на расширение круга пользователей и, соответственно, рынка сбыта.

По сути, пиктограммы являются стилизованными рисунками, обозначающими объект, процесс или действие. Следует отметить, что используемые в настоящее время в качестве пиктограмм изображения не отвечают в полной мере поставленным целям и задачам. Некоторые символы, как, например, обозначение II класса защиты, пользователем могут быть приняты за декоративные элементы общего композиционного решения. Поэтому для бытовой и аналогичной техники, с которой должны работать непрофессионалы, с точки зрения обеспечения электробезопасности, требование к расположению данного символа формулируется следующим образом: условное обозначение прибора класса II должно быть расположено так, чтобы было ясно, что оно является частью технической информации, и чтобы его нельзя было принять за другое обозначение.

Символьную маркировку можно классифицировать по признакам, приведенным на рис. 4.32.

Товарные, сертификационные, эксплуатационные, информационные и предупредительные знаки наносят на изделие. На потребительской упаковке располагаются товарные, сертификационные, экологические, информационные и размерные знаки, а также штрихкодовая маркировка. На транспортной упаковке наносят манипуляционные знаки и, в ряде случаев, штриховое кодирование.

К *товарным знакам* относят зарегистрированные в установленном порядке обозначения, служащие для отличия однородных изделий разных предприятий.

Рис. 4.32. Классификация символьной маркировки

Эксплуатационные знаки предназначены для правильных эксплуатации и монтажа изделия. Большинство таких знаков утверждены на международном уровне. К ним относятся, например, знаки управления бытовой и электро-

радиоизмерительной техникой, знаки регулирования и настройки аудио-, видео- и телеаппаратуры и т. д.

Предупредительные знаки маркировки предназначены для предупреждения пользователя об опасности. Это знаки «Высокое напряжение», «Ионизационное излучение» и др.

Сертификационные знаки информируют потребителя о соответствии товара принятым нормам и правилам. Например, символ говорит о том, что изделие удовлетворяет международным нормам на электромагнитную совместимость.

Информационные знаки, в зависимости от места размещения – на изделии или потребительской упаковке, несут, как правило, различную информационную нагрузку. Например, на электроизмерительных приборах обязательна простановка знаков, определяющих принцип действия прибора (электромагнитный, электродинамический и т. д.), рабочее положение (горизонтальное, вертикальное) и т. д.

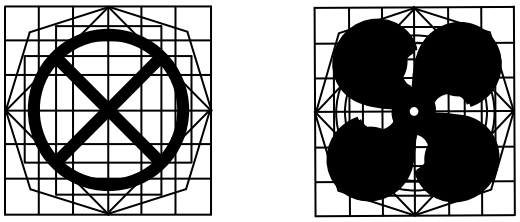
На упаковке изделий вычислительной техники как информационные присутствуют знаки возможности использования в тех или иных операционных системах или совместимости с вычислительной техникой определенных фирм-изготовителей.

Экологические маркированные знаки наносятся, как правило, на упаковку. Они предназначены для информирования потребителей об экологической чистоте изделий или экологически безопасных способах утилизации как товара, так и упаковки.

Манипуляционные знаки представляют собой комплекс условных обозначений, наносимых на любую упаковку – потребительскую и транспортную. Они несут информацию о способах обращения (хранения, складирования и др.).

При разработке графической символики обязательно должны учитываться профессиональные знания и навыки людей, использующих данную аппаратуру, для возникновения ассоциаций и повышения точности распознавания. Таким образом формируются предпосылки для создания символов, имеющих одинаковое изображение, но несущих, в зависимости от маркируемого объекта, разную смысловую нагрузку. Например, символ, расположенный на пульте устройства с программным управлением, обозначает «перемещение рабочих органов станка на единицу дискретности отработки перемещений», на радиоэлектронном генераторе сигналов – «прямоугольный импульс».

Следует отметить, что чем большее количество пиктограмм внедряется в производство, тем дольше процесс обучения пользователей.



а *б*

Рис. 4.33. Вид графических символов: *а* – контурный; *б* – силуэтный

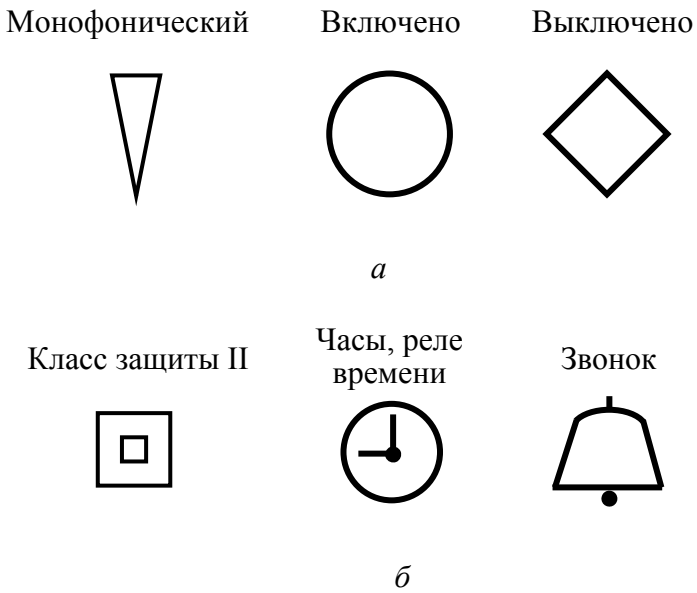


Рис. 4.34. Условные графические символы с различной степенью абстракции: *а* – полной; *б* – частичной

Форма условных знаков может быть контурной, или линейной, (рис. 4.33, *а*) и силуэтной, или сплошной (рис. 4.33, *б*). Нанесение контурных знаков более технологично, и время их поиска меньше.

Для однозначного восприятия символьных обозначений необходимо правильно выбирать рисунок символа, его размеры, форму, соотношение цветов изображения и фона.

Рисунок символа определяет степень абстрагирования, т. е. в данном случае меру приближения кодового обозначения к кодируемому объекту или действию. При полном абстрагировании форма знака не связана с физической сущностью наносимой информации (рис. 4.34, *а*). В случае применения символов, в той или иной степени отражающих суть действия или объекта (рис. 4.34, *б*), наблюдается более высокая точность и скорость распознавания.

Если знак не несет смыслового значения, не ассоциируется с объектом или действием, то его форма должна быть легко запоминающейся.

Без знания языка, стандартов и т. п. должны быть понятны обозначения, используемые для маркирования выключателей и других органов управления, функционирование которых может вызвать опасность для человека.

При разработке новых и применении имеющихся условных графических знаков конструктор должен знать, что легче различаются и распознаются геометрические объекты, состоящие из небольшого количества элементов и образованные прямыми линиями. Многоугольники и фигуры, сформированные криволинейными элементами, различаются хуже.

В общем случае время распознавания условного знака зависит от его углового размера, сложности, световых и цветовых характеристик.

По сложности знаки условно можно разделить на три группы: *простые* (рис. 4.35, *а*), *средней сложности* (рис. 4.35, *б*) и *сложные* (рис. 4.35, *в*). Как видно из рис. 4.35, конфигурация простых знаков определяется только внешним контуром. У знаков средней сложности дополнительную деталь располагают внутри или снаружи контура, у сложных знаков несколько дополнительных деталей размещают и внутри и снаружи.

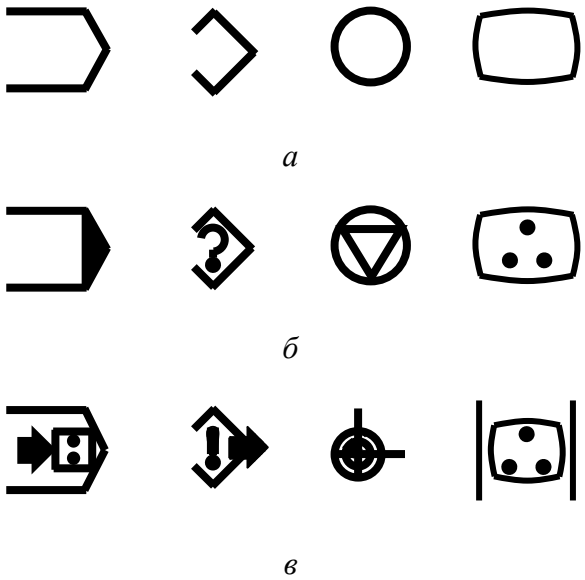


Рис. 4.35. Условные знаки разной сложности

Таблица 4.11

Угловые и контрастные характеристики знаков разной сложности

Параметр	Сложность знака		
	Простой	Средний	Сложный
Угловой размер контура, мин	18 ±1	21 ±1	35 ±2
Угловой размер детали, мин	–	4 ±1	6 ±1
Контраст	0,75 ±0,05	0,85	0,9

Понятно, что чем сложнее знак, чем больше входящих в него элементов, тем больше времени требуется на его считывание. Поэтому для знаков различной сложности требуются разные предельные угловые размеры и различная величина контраста.

Рекомендуемые параметры условных графических знаков приведены в табл. 4.11.

Толщина линий контура определяется не только размером знака и типом выбранного шрифта, но и возможностью нести дополнительную информацию.

Лекция 15

П л а н л е к ц и и

4.18.3. Цветокодовая маркировка.
4.19. Построение систем кодирования зрительной информации.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [14, 48].

4.18.3. Цветокодовая маркировка

Кодирование цветом является эффективным способом передачи информации, особенно в случаях, когда надписи слишком длинны и требуют много времени для их чтения или когда их трудно или невозможно прочитать на расстоянии.

В основном кодирование цветом применяется:

- для привлечения внимания;
- предупреждения о возможной опасности;
- предписания и разрешения определенных действий с целью обеспечения безопасности;
- быстрой идентификации рабочего процесса (например, для медицинской аппаратуры);
- кодирования информации для автоматизированного считывания (маркирование ЭРЭ);
- кодирования информации, когда другая маркировка не возможна или громоздка (маркирование ЭРЭ, электрических линий связи и т. д.).

Для достижения первых трех целей окрашивают цветом соответствующие знаки, таблички, планки с надписями. Применяемые для этой цели цвета называют *сигнальными*. Их четыре: *красный*, *желтый*, *синий* и *зеленый*. Такой выбор не случаен. Выяснено, что только четыре цветовых тона не воспринимаются как смеси. Они называются *единичными* (*унитарными*) *цветовыми тонами*: единичный красный, единичный желтый, единичный зеленый и единичный синий. Все другие цветовые тона рассматриваются как смеси следующих пар: единичного зеленого и единичного желтого (желтовато-зеленые и зеленовато-желтые), единичного желтого и единичного красного (красновато-желтые и оранжевые), единичного красного и единичного синего (синевато-красные, пурпурные и фиолетовые), единичного синего и единичного зеленого (зеленовато-синие и голубовато-зеленые).

Назначение сигнальных цветов в соответствии с ГОСТ Р12.4.026 приведено в табл. 4.12.

Для усиления контраста сигнальных цветов их применяют на фоне *контрастных цветов*. Последними выполняют символы и поясняющие надписи, если основной фон сигнального цвета.

На рис. 4.36 приведен пример цветокодовой маркировки контрастного типа органов регулировки (подстроечных резисторов), расположенных на плате цветного телевизора. Эти резисторы предназначены для сведéния вертикальных и горизонтальных линий различных цветов.

Таблица 4.12

Виды сигнальных и контрастных цветов

Сигнальный цвет	Смысловое значение	Область применения	Контрасный цвет
Красный	Непосредственная опасность	Запрещение опасного поведения или действия	Белый
		Обозначение непосредственной опасности	
	Аварийная или опасная ситуация	Сообщение об аварийном отключении или аварийном состоянии оборудования	
	Пожарная техника, средства противопожарной защиты, их элементы	Обозначение мест нахождения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов	
Желтый	Возможная опасность	Обозначение возможной опасности, опасной ситуации	Черный
		Предупреждение, предостережение о возможной опасности	
Зеленый	Безопасность, безопасные условия	Сообщение о нормальной работе оборудования	Белый
	Помощь, спасение	Обозначение пути эвакуации, аптечек, кабинетов, средств по оказанию первой медицинской помощи	
Синий	Предписание во избежание опасности	Требование обязательных действий в целях обеспечения безопасности	Белый
	Указание	Разрешение определенных действий	

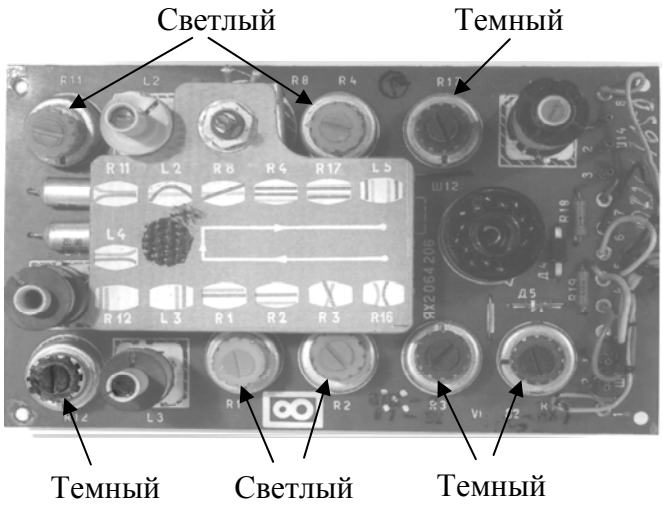


Рис. 4.36. Цветокодовая маркировка органов настройки

Таблица 4.13

Стандартные буквенные коды цветов

Цвет	Буквенный код	
	Латинский алфавит	Русский алфавит
Черный	BK	Ч
Коричневый	BN	КЧ
Красный	RD	К
Оранжевый	OG	Ж
Желтый	YE	Ж
Зеленый	GN	З
Синий (включая голубой)	BU	С
Фиолетовый (пурпурный)	VT	Ч
Серый (синевато-серый)	GY	Б
Белый	WH	Б
Розовый	PK	К
Золотой	GD	ЗЛ
Бирюзовый	TQ	БЗ
Серебряный	SR	СР
Зелено-желтый	GNYE	ЗЖ

П р и м е ч а н и е. Как предпочтительный вариант можно применять строчные буквы с тем же значением.

Как видно из рис. 4.36, цвета ручек резисторов разного назначения различны: для вертикальных – темного цвета, для горизонтальных – светлого. Подобное решение упрощает процесс регулировки изделия.

В соответствии с ГОСТ 28763 при маркировании изделий применяются кодовые обозначения цветов, приведенные в табл. 4.13.

В случае необходимости кодирования других применяемых цветов соответствующий код определяется разработчиком в дополнительной докумен-

тации. Сочетание цветов обозначается непосредственным присоединением кодов для различных цветов в последовательности, приведенной в табл. 4.13.

П р и м е р. Двухцветный красно-синий элемент: RDBU (КС – для русского алфавита).

Если различные элементы окрашены по-разному, то коды для различных цветов отделяются знаком «плюс».

П р и м е р. Пятижильный кабель с двумя черными жилами, одной коричневой, одной синей и одной зелено-желтой:

BK + BK + BN + BU + GNYE,

или для русского алфавита:

Ч + Ч + КЧ + С + ЗЖ.

4.19. Построение систем кодирования зрительной информации

Существует ряд независимых параметров, по которым должны строиться и оцениваться кодовые сигналы: вид алфавита (или категория кода), длина алфавита, мерность кода, компоновка кодовых знаков и групп.

Основой любой системы кодирования является **алфавит кода – знаки, используемые в заданной системе кодирования.**

Кодирование – процесс присвоения кодового обозначения изделию или замены надписей символами (например, цветокодовое кодирование ЭС).

Алфавит может быть одномерным или многомерным. В последнем случае в одном знаке объединяются несколько видов алфавита. Под *мерностью кода* понимается количество значимых и меняющихся параметров сигнала. С помощью многомерных сигналов можно передать одновременно значительно больше информации, чем с помощью одномерного.

Если кодовое обозначение состоит из нескольких знаков, то его структура (по ГОСТ 21829) выстраивается таким образом, чтобы крайние знаки несли наиболее важную информацию.

Под *длиной алфавита* понимается количество знаков, которое принадлежит тому или иному способу кодирования. Длина алфавита определяет динамический объем характеристик объекта, который можно описать с помощью данного алфавита.

Выбор вида алфавита. Для кодирования количественной и качественной визуальной информации, наносимой на изделия ЭС, применяются основные виды алфавита или кодовые категории, приведенные на рис. 4.37. При этом каждый алфавит имеет свое *основание кода* – минимальное число зна-

ков.

Применительно к зрительному поиску преимущество имеют кодовые категории *цвета* и *формы*, обеспечивающие минимальное время поиска объектов. Наименьшую точность имеет идентификация по размеру.

Форма используется для кодирования класса и вида объекта (действия). Ее вид должен опираться на профессиональные привычки и знания пользователя аппаратуры. Для данного алфавита основой классификационного признака является *контур*, который по возможности должен быть ориентирован по основным, привычным для человека, пространственным осям: вертикальной и горизонтальной.

Следует отметить, что **форму по признаку «прямое-зеркальное отображение» нельзя использовать для отличия знаков**. *Исключение* составляют знаки, определяющие пространственную ориентацию или направленность типа вверх-вниз, вправо-влево, вперед-назад (рис. 4.38).

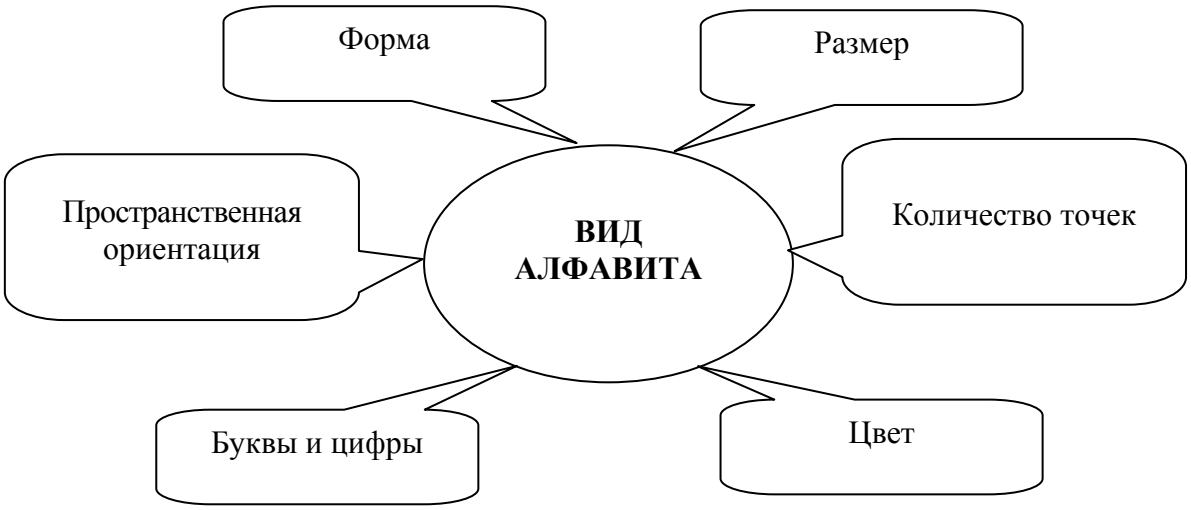


Рис. 4.37. Виды алфавитов кода

Рис. 4.38. Применение зеркального отображения для распознавания знака

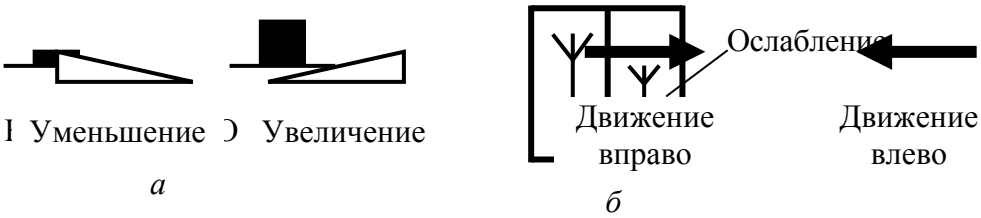


Рис. 4.39. Применение размера в качестве алфавита кода

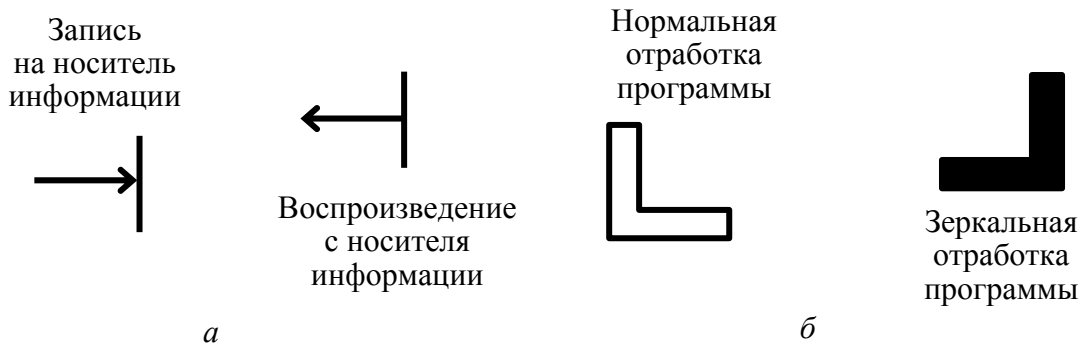


Рис. 4.40. Применение пространственной ориентации для кодирования информации

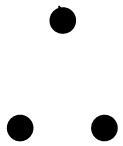


Рис. 4.41. Применение точек для кодирования информации

Размеры как код передачи информации используют, устанавливая соответствия между площадью и/или линейными размерами знаков с характеристиками объекта (размером, положением, мощностью сигнала, удаленностью и т. д.).

Пример таких знаков приведен на рис. 4.39: для обозначения положения кнопочного переключателя (рис. 4.39, *а*) и ослабления принимаемого сигнала (рис. 4.39, *б*).

При выборе соотношений предпочтительно, чтобы шкала размеров менялась в геометрической, а не в арифметической прогрессии. Величина основания кода для данного алфавита – 5.

Пространственную ориентацию в основном используют для передачи информации о направлении движения, например вправо-влево. Для асимметричных фигур это достигается полным поворотом изображения или частичным (рис. 4.40, *а*) и зеркальным отображением (рис. 4.40, *б*).

Для усиления распознаваемости может быть изменен тип знака – с контурного на силуэтный (рис. 4.40, *б*). Величина основания кода для пространственной ориентации – 8.

Количество символов, например точек, обычно служит для обозначения числа объектов. Приведенный на рис. 4.41 символ маркируется на аппаратуре цветного телевидения для обозначения соединителей, переключателей и регулирующих элементов цвета, не предназначенных для работы в черно-белом режиме. Этот символ указывает на применение трех основных цветов, используемых при формировании цветного изображения: *красного*, *синего* и *зеленого*.

Для данного алфавита оптимальная величина основания кода – 5. В этом случае время распознавания символа не превышает 0,1 с.

Если маркировка предназначена для автоматизированного считывания информации, то основание кода не ограничено, например для штрихкодовой маркировки.

Буквенно-цифровой алфавит служит для передачи информации о количественных параметрах объекта, классов и типов объектов. Параметры знаков (высота, ширина и толщина линии обводки шрифта) должны быть однотипными в пределах одного изделия (за исключением логотипов фирм-изготовителей) и выбираться из значений, установленных для конкретного шрифта (например, по ГОСТ 26.008, ГОСТ 26.020 и т. д.). Этот алфавит имеет неограниченное количество комбинаций обозначений.

Цветовым алфавитом обычно передается информация о состоянии или значимости объекта. Обычно основание кода для данного алфавита принимается равным 11 (количество цветовых тонов и яркостей). Цветовых тонов, как правило, пять: зеленый, красный, голубой, желтый и фиолетовый.

Этот код применяют при ахроматическом освещении (обычно белым цветом), поскольку цветоощущение зависит от параметров общего освещения.

Согласно ГОСТ 21829 используют три основных цветовых тона. Назначение кодовых цветов приведено в табл. 4.14. В общем случае оно соответствует назначению сигнальных цветов (см. табл. 4.12).

Таблица 4.14

Назначение кодовых цветов

Рекомендуемый цвет кода		Категория информации
основной	дополнительный	
Желтый	Белый	Предупреждающая информация осведомительного характера. Содержит сведения об обстановке (исключая аварийную) и рекомендации для принятия мер, оставляя за оператором право выбора окончательного решения
Зеленый	Синий	Предупреждающая информация командного характера. Требует или разрешает выполнение определенных действий
Красный	Оранжевый	Запрещающая информация аварийного характера. Накладывает строгие ограничения на выполнение или запрещение тех или иных действий. Указывает на неготовность или неисправность контролируемого объекта

В электротехнической аппаратуре в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0 может быть применен белый цвет для обозначения включенного состояния выключателя, когда применение красного, зеленого и желтого цветов недопустимо или невозможно. Синий цвет применяется в специальных случаях: когда не могут быть применены красный, зеленый, желтый и белый цвета.

Дополнительный цвет используют для выделения особо важной информации или ее разделения внутри алфавита. Например, для медицинской

стоматологической аппаратуры знаки управления воздухом маркируются зеленым, знаки управления водой – синим.

При маркировании шкал рекомендуется использовать не более четырех цветов в пределах одной шкалы.

Минимальная яркость цветовых знаков должна составлять 10 кд/м^2, оптимальная – 170 кд/м^2, а в условиях темновой адаптации минимальная яркость 70 кд/м^2.

Независимо от выбранного алфавита при конструировании символов необходимо учитывать следующие рекомендации:

- изображение, для быстрого распознавания, по стилю должно быть ассоциативно действию или процессу;
- знак должен быть хорошо различим и представлять собой замкнутую фигуру;
- дополнительные детали должны быть унифицированы;
- дополнительные детали не должны пересекать или искажать основной классифицирующий признак;
- дополнительные детали желательно располагать внутри основного символа;
- в графический символ не должна включаться текстовая часть;
- угловой размер графического символа должен составлять 45–60′;
- угловой размер цветового знака должен составлять 35–45′.

Дополнительно, в зависимости от формы изображения, предъявляются следующие требования:

- *при контурной форме*:

  каждая линия символа должна быть толщиной от 2 до 4 мм;

  расстояние между линиями не должно быть меньше, чем полторы толщины основной линии контура;

  углы между линиями должны быть не менее 30°;
- *при силуэтной форме*:

  слишком мелкие детали не допускаются;

  элементы типа «негатив-позитив» желательно не применять в качестве отличительных признаков.

Контрольные вопросы

1. Что такое компоновка ЭС?
2. Что является основной задачей компоновки?
3. Какие методы компоновочных работ вы знаете?
4. Проведите сравнительный анализ модельных и аналитических методов компоновочных работ, перечислите достоинства и недостатки.
5. По каким принципам осуществляется организация элементов на лицевых панелях? Приведите примеры.
6. Какими основными параметрами характеризуется такой орган чувств, как зрение?
7. Назовите характеристики зрительного анализатора.
8. Каковы общие требования к проектированию отсчетных устройств?

5. НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭС

Лекция 16

П л а н л е к ц и и

5.1. Иерархия несущих конструкций.
5.2. Компоновка блоков.
5.3. Конструкции блоков.
5.4. Зарубежные несущие конструкции ЭС.
5.5. Характеристика защиты от внешних воздействий корпусом.
Л и т е р а т у р а: [13, 21, 24, 29, 34, 50].

5.1. Иерархия несущих конструкций

Каждому иерархическому уровню соответствует своя несущая конструкция, являющаяся, по сути, скелетом, на котором располагаются ЭРЭ, коммутационные элементы, органы управления, электрический монтаж и т. п. Без них невозможно выполнение основных функций, возложенных на ЭС, по передаче, хранению и преобразованию информации (рис. 5.1).

Несущая конструкция – это элемент конструкции или совокупность элементов, предназначенные для размещения в ней составных частей ЭС и обеспечения их устойчивости к различным воздействиям в заданных условиях эксплуатации.

Несмотря на большое разнообразие несущих конструкций, отличающихся размерами, типом исполнения, применяемыми материалами и т. д., существует некоторое единое организационное построение, обусловливающее конструктивную совместимость при переходе от одного конструктивного уровня к другому. Иначе говоря, должно существовать ограниченное число типоразмеров печатных плат, встраиваемых в ячейки, – конструктивные (КУ) или функциональные узлы (ФУ). *Блок* (*субблок*) также предназначен для размещения только определенного числа ячеек. Естественно, что и в шкафу количество встраиваемых несущих конструкций – блоков, ячеек и пр. – небесконечно.

Типовые несущие конструкции, в которых унифицированы элементы конструкции и размеры каждого конструктивного уровня, называются *базовыми*. Существует несколько видов базовых несущих конструкций, отличающихся принципами построения модульного ряда входящих конструктивных элементов.

Например, для построения радиоэлектронной аппаратуры в модульном исполнении существует иерархическая структура следующего вида.

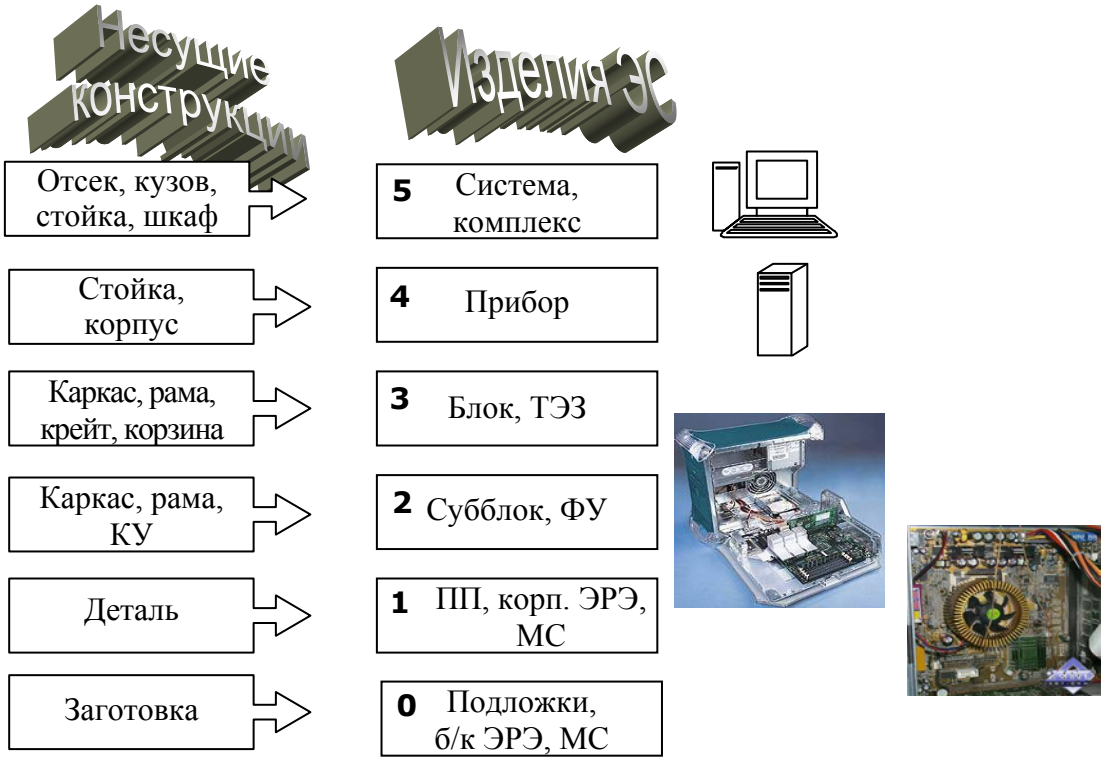


Рис. 5.1. Иерархическое построение несущих конструкций

Радиоэлектронный модуль:

- третьего уровня – РЭМ III;
- второго уровня – РЭМ II;
- первого уровня – РЭМ I;
- нулевого уровня – РЭМ 0.

РЭМ III – функционально законченный радиоэлектронный (РЭ) шкаф или пульт (стойка), выполненный на основе базовой несущей конструкции 3-го уровня (БНК III) и обладающий свойствами конструктивной и функциональной взаимозаменяемости, а также эксплуатационной автономией.

РЭМ II – функционально законченный РЭ-блок (или рама), выполненный на основе БНК II, обладающий свойствами конструкционной и функциональной взаимозаменяемости.

РЭМ I – функционально законченная РЭ-ячейка, выполненная на основе БНК I, обладающая свойствами конструктивной и функциональной взаимозаменяемости.

РЭМ 0 – элементная база.

Существуют конструкционные системы под условными названиями:

«Надел» – электроизмерительные приборы;

«Сервис» – универсальные рабочие места операторов;

«База-1» – для стационарной аппаратуры связи;

«База-2» – для морской, возимой ЭС;

«База-3» – для ЭС различного функционального назначения;

«База-4» – для магистральных, кабельных, коммутационных ЭС.

5.2. Компоновка блоков

Под *компоновкой блоков* подразумевают взаимное расположение и взаимную ориентацию конструктивных элементов блока: ячеек, элементов электромонтажа, механических элементов крепежа, рамок, деталей корпусов и т. д. Блоки, как правило, имеют прямоугольную форму, за исключением блоков бортовой и космической аппаратуры, когда их геометрическая форма определяется формой отводимых под радиотехнические средства отсеков.

Главными задачами разработки конструкции блока являются:

- выбор рационального варианта компоновки ячеек в блоке;
- обеспечение минимальных длин, массы и габаритов электрической коммутации;
- обеспечение нормальных тепловых режимов, защиты от воздействий внешней среды;
- снижение материалоемкости, стоимости.

Необходимым условием выбора компоновочной схемы блока является решение вопросов унификации, упрощения конструктивных решений и технологии формообразования деталей блока.

Детали несущих конструкций блоков обеспечивают размещение, механическое крепление, защиту от дестабилизирующих воздействий ячеек, установку блоков в шкафах, стойках и стеллажах. В настоящее время с появлением большой номенклатуры недорогих прессованных и прокатных профилей находят широкое применение профильно-сборные конструкции.

На схемах компоновки блоков рис. 5.2 показаны варианты пространственной ориентации ячеек. Варианты 2, 6 не обеспечивают хороший теплоотвод от ячеек как при естественном, так и при принудительном охлаждении. Для разъемных конструкций блоков с большим числом ячеек предпочтительны варианты 1, 3, для книжных конструкций – 4, 5. Число выходных контактов с одной ячейки, как показывает практика проектирования, – от 60 до 80 и имеет тенденцию к увеличению. С этой точки зрения для блоков разъемной конструкции более пригоден вариант 1 компоновки, а для блоков книжной конструкции – вариант 4. В то же время вариант 5 книжной конструкции обеспечивает максимальную плотность компоновки интегральных микросхем (ИМС) в блоке.

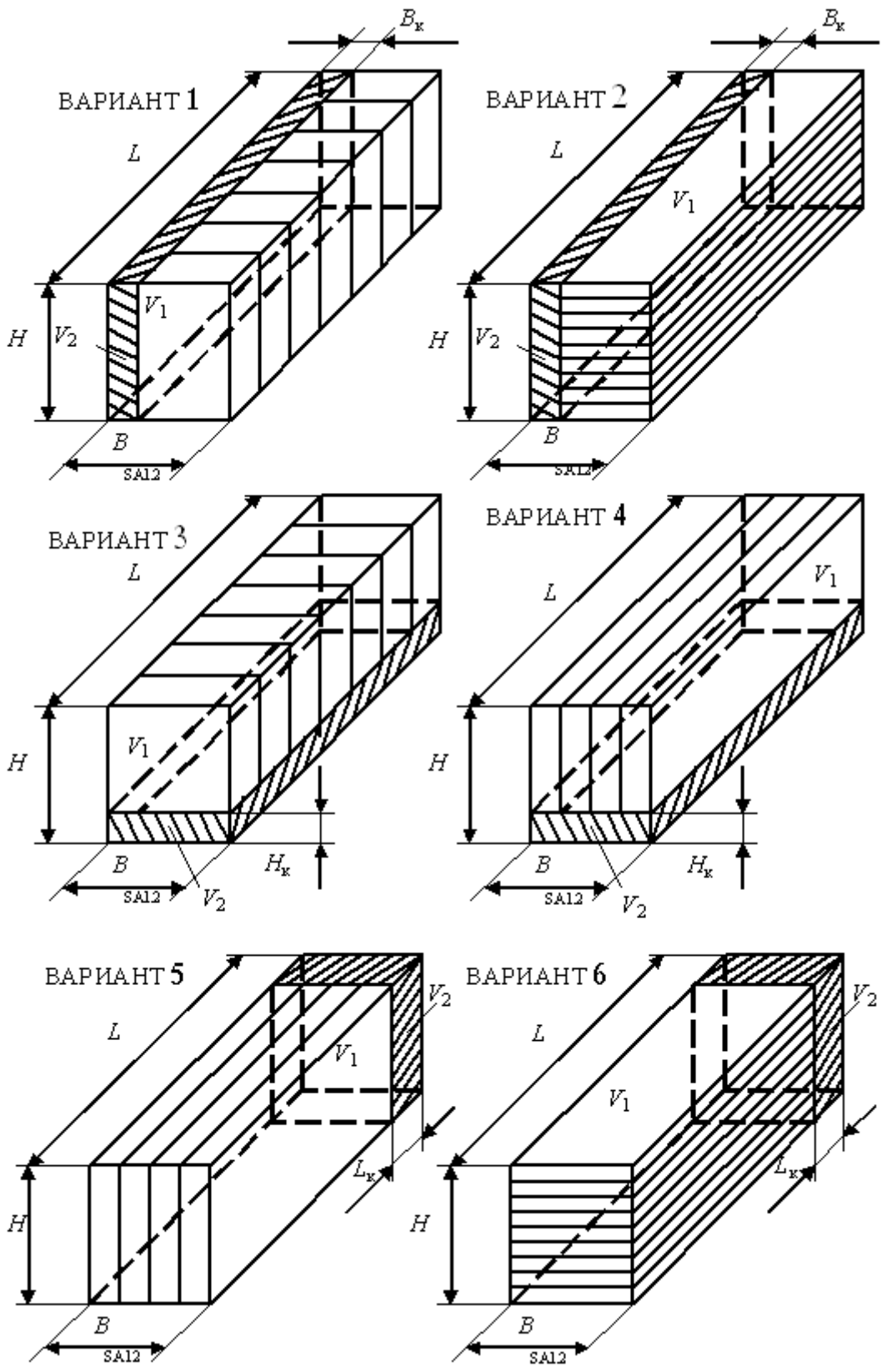


Рис. 5.2. Схемы компоновки блоков: L, H, B – длина, высота и ширина блока; $L_к$, $H_к$, $B_к$ – части блока, занимаемые элементами внутри блочной коммутации

Соотношение геометрических размеров блока – длины, ширины и высоты – для каждого из рассмотренных вариантов компоновки определяет соотношение геометрических размеров ячеек, а последние, в свою очередь, определяют длину электромонтажных связей в ячейке, ее помехоустойчивость, шаг установки ИМС. Практика показывает, что ширина B блоков книжной конструкции не должна быть меньше 120 мм. Для блоков разъемной конструкции варианта 1 компоновки должно быть $H \geq 180$ мм, $B \geq 120$ мм, варианта 3 – $H \geq 180$ мм, $B \geq 180$ мм. При этом нужно учитывать, что электрические соединители ячеек занимают в блоках зону, равную 25–35 мм (на рис. 5.2 заштрихована), что увеличивает одну из сторон блока в зависимости от выбранного варианта компоновки; жгутовые соединения, гибкие печатные шлейфы и коммутационные платы увеличивают размеры блока еще на 15–20 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Воздушная система охлаждения при естественной конвекции требует для своей реализации 6–8 мм зазоров между ячейками; воздушная система принудительного охлаждения позволяет сократить зазоры между ячейками до 2 мм, но требует увеличения объема блока на 10–15 % для установки вентилятора или воздуховодов.

Дополнительные конструктивные теплостоки (радиаторы, теплоотводящие шины, ребра корпусов) также увеличивают габариты блоков на 20–25 %. Кроме того, на размеры блоков влияют способ изготовления несущих конструкций и метод герметизации.

5.3. Конструкции блоков

Наибольшее распространение получили блоки разъемной (рис. 5.3) и книжной (рис. 5.4) конструкций. В обоснованных случаях используют этажерочную (рис. 5.5), планшетную (рис. 5.6) или кассетную (веерную) конструкции.

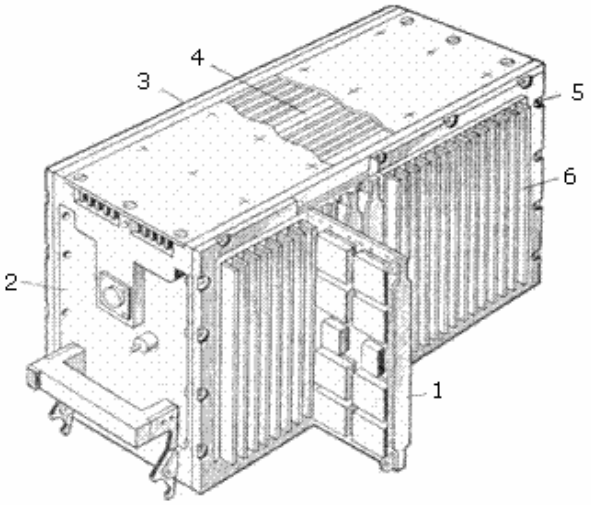


Рис. 5.3. Блок разъемной конструкции: *1* – ячейка; *2* – корпус; *3* – боковая крышка; *4* – средняя стенка; *5* – болт крепления; *6* – ребристый теплоотвод

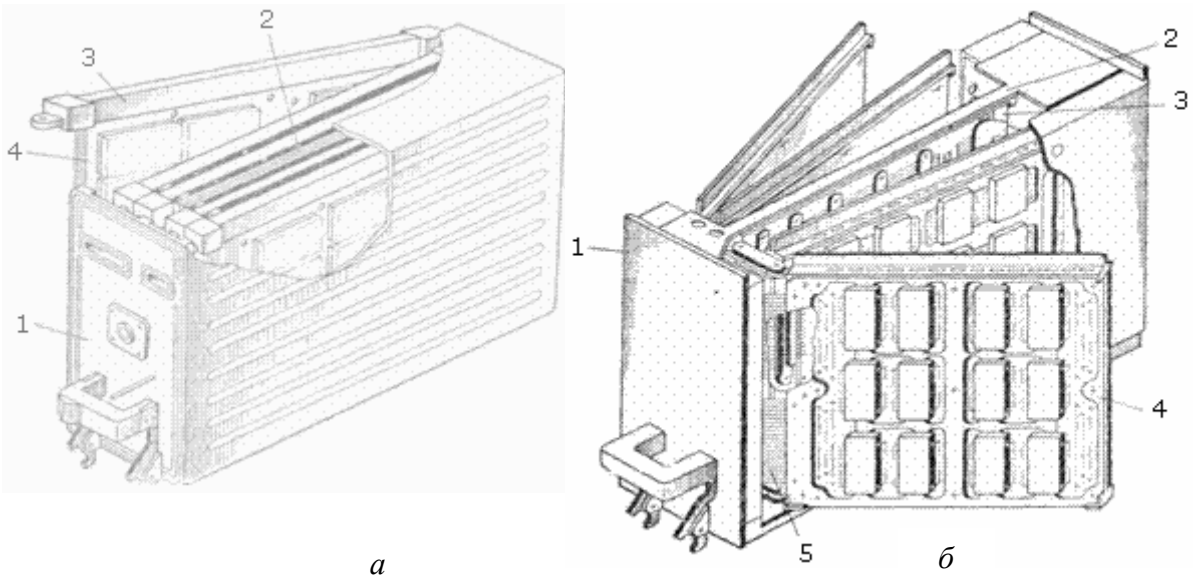


Рис. 5.4. Блоки книжной конструкции с вертикальной осью раскрытия при естественном (*а*) и принудительном (*б*) воздушном охлаждении: *1* – передняя панель; *2* – средняя рама; *3* – воздуховод; *4* – ячейка; *5* – коммутационная панель

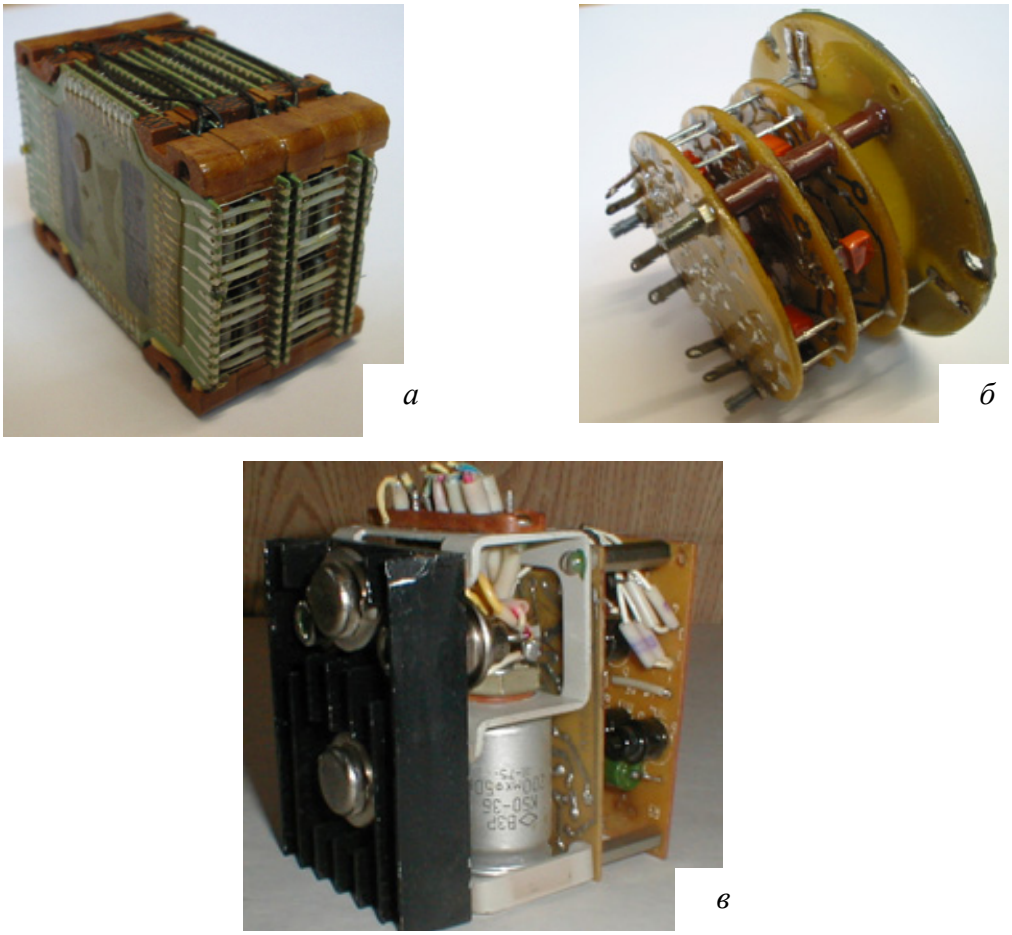


Рис. 5.5. Блоки этажерочной конструкции: *а* – герметичный; *б* – специальной формы; *в* – модуль блока питания

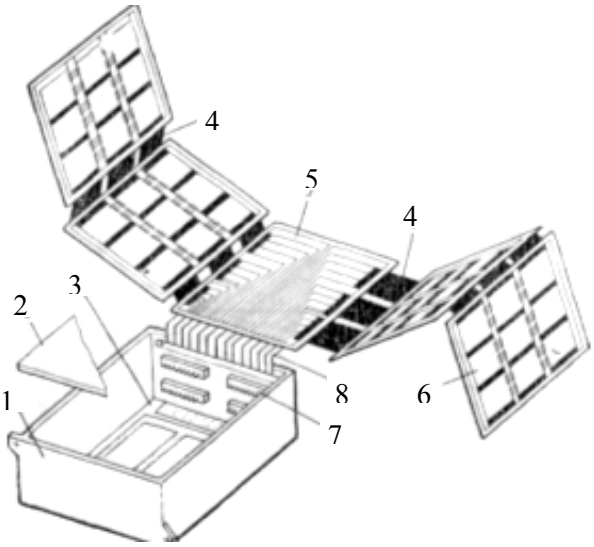


Рис. 5.6. Общий вид развернутого блока бортовой ЭВМ: *1* – гермокорпус; *2* – крышка; *3* – плата вторичного источника питания; *4* – шлейф; *5* – коммутационная плата; *6* – ячейка; *7* – соединитель; *8* – плоский кабель

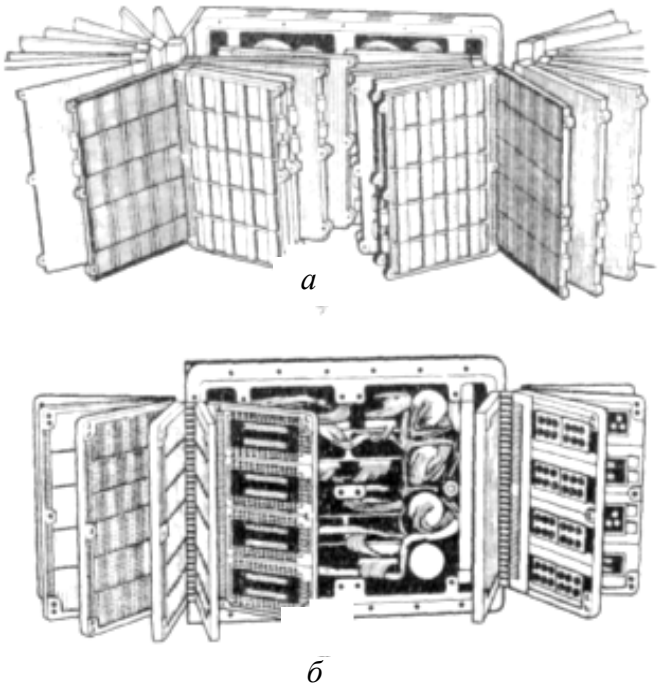


Рис. 5.7. Герметичные блоки книжной конструкции:
а – на ячейках с печатными платами;
б – на ячейках с использованием металлических рамок

Основными достоинствами книжной компоновки блоков являются высокая плотность размещения ИМС и микросборок, легкий доступ к ним при ремонте, возможность контроля и регулировки устройств во включенном состоянии. Этим и объясняется широкое распространение блоков книжной конструкции (рис. 5.7).

5.4. Зарубежные несущие конструкции ЭС

Производство несущих конструкций, особенно из металлических материалов, представляет определенные трудности для изготовителей в связи с большими материалоемкостью и трудозатратами. Для решения этой проблемы изготовление несущих конструкций за рубежом производится в основном специализированными фирмами, такими как Bopla и Roze. Основной путь, по которому идет развитие несущих конструкций, предлагаемых указанными фирмами, – это производство таких конструкций, механическая обработка которых производителями ЭС сводилась бы к минимуму. Кроме того, предлагаемые конструкции унифицированы по модульному принципу в рамках системы ЕВРОМЕХАНИКА.

Основные принципы этой системы рассмотрим на корпусах стандарта 19″, наиболее популярного для построения различных ЭС при кассетном исполнении субблоков.

Система ЕВРОМЕХАНИКА представляет собой модульный конструктив, который предназначен для размещения стандартных плат, кассет и конструкций, унифицированных по высоте, ширине и глубине. Для удобства в стандарте ЕВРОМЕХАНИКА приняты несколько опорных и рекомендуемых для повторения величин высоты, ширины и глубины. Так как ЕВРОМЕХАНИКА ведет свое начало от американских стандартов, то размерность всех величин изначально была установлена в дюймах, а далее, с распространением стандарта в Европе, многие величины были округлены для удобства использования метрической системы.

Конструктив ЕВРОМЕХАНИКА является международным стандартом, учитывающим тот факт, что в раму могут встраиваться изделия различных производителей. Для обеспечения совместимости все габариты несущих конструкций имеют необходимые допуски, позволяющие учитывать отклоне-ния размеров при производстве и сборке конструктивов ЕВРОМЕХАНИКА и печатных плат для них.

Стандарт ЕВРОМЕХАНИКА имеет следующую систему отдельных элементов.

Конструктив (*Sistem*) – совокупность отдельных элементов системы ЕВРОМЕХАНИКА, составляющих целостную механическую конструкцию, которая может подвергаться изменениям и дополнениям без механической обработки отдельных конструктивных элементов.

Рама (*Baugruppentraeger*), также называемая *корзиной* или *крейтом*, предназначена для установки путем вдвижения по направляющим печатных плат или кассет с последующим их закреплением каким-либо способом на раме. Слева и справа на раме закреплены фланцы, имеющие готовые стандартные отверстия для закрепления рамы в стойке.

Направляющая (*Kartenfuehring*) – пластиковый или металлический желобок, закрепляемый на раме и служащий для фиксации печатной платы или кассеты.

Кассета (*Kassete*) – вдвигаемый по направляющим в раму, конструктивно законченный элемент, состоящий из защитной оболочки, внутри которой размещается одна или несколько печатных плат или иных электромеханических конструкций. Габаритные размеры кассеты соответствуют стандартным системы ЕВРОМЕХАНИКА.

Плата (*Druckplatte*) – печатная плата, вдвигающаяся по направляющим в раму и имеющая стандартные и произвольные габариты и стандартные или нестандартные разъемы для подключения к кросс-плате или кросс-шине.

Лицевая панель (*Frontpanel*) – прямоугольная панель из металла или пластика, часто являющаяся одновременно держателем печатной платы или заглушкой и имеющая по углам отверстия для крепления на раме.

Стойка (*Gestell*) – изделие, являющееся кожухом для рамы. Габариты стойки могут быть различными, но она может наращиваться только по высоте и никогда по ширине. Стойка в настольном варианте выполняется в виде прибора, а при закреплении на стене превращается в настенный пульт.

Гибкость системы ЕВРОМЕХАНИКА достигается следующими конструктивными изменениями:

- изменение высоты конструктива со стандартным шагом;
- изменение глубины рамы или стойки (выпускаются рамы или стойки нескольких стандартных глубин);
- изменение форматов рам (преобразование рамы высотой 3*HE* в подсистемы для размещения плат и кассет формата 6*HE* и наоборот и т. п.);
- заполнение стоек рамами со стороны лицевой и задней панелей одновременно;
- размещение в рамах или кассетах металлических конструкций от систем и конструктивов другого типа;
- частичное заполнение стоек рамами или рам платами или кассетами и размещение в оставшемся объеме узлов и блоков от других систем.

В системе ЕВРОМЕХАНИКА принят интерфейс разъемов стандарта DIN 41612 (в России аналогами этих разъемов являются СНП59). Для плат стандартной высоты 3*HE* устанавливается один разъем, для плат стандартной высоты 6*HE* – два. Некоторые стандартные кассеты приспособлены для установки двух и более стандартных плат, и тогда вся кассета может содержать 2–4 и более стандартных разъемов. Минимальное расстояние между направляющими в системе ЕВРОМЕХАНИКА ограничено физическими размерами разъемов (их шириной). Это необходимо учитывать для кассет с одной и более платами.

Для стандарта ЕВРОМЕХАНИКА обычно используются два варианта кросс-системы разъемов: кросс-плата с печатным сочленением разъемов и шинная структура или кросс-система из разъемов, привинчиваемых на специальные посадочные места и соединенных в шинную систему. Например,

пайкой, накруткой или каким-либо иным способом. Конструктивно система ЕВРОМЕХАНИКА допускает применение и других разъемов, но при этом теряется совместимость с изделиями других производителей.

Для удобства конструкторов большая часть размеров в системе ЕВРОМЕХАНИКА выражается в условных единицах, связанных с метрической системой мер, но значительно более удобных.

Ширина рамы измеряется в единицах ширины *TE* (*Teileinheit*). *TE* = 5,08 мм (0,2″).

Единицей высоты рам и печатных плат является условная единица *HE* (*Hocheinheit*). В американской литературе принято обозначение для единицы высоты *U* (*Unit*): *U* = *HE* = 44,45 мм.

Величины *TE* и *HE* не могут быть уменьшены (неделимы), но допускают производство над собой других целочисленных математических операций.

Единица измерения глубины составляет 60 мм.

Стандартные размеры печатных плат. Ширина платы *B* вычисляется по формуле $B = N \times HE = 33{,}35$ мм.

Стандартная плата 3*HE*: ширина 100 мм, соответственно для платы 6*HE* ширина 233,35 мм. Реально указывается ширина 233 или 233,5 мм. Эти величины соответствуют допуску при изготовлении плат.

Все остальные ширины печатных плат являются специальными и определяются конкретным разработчиком системы на базе системы ЕВРОМЕХАНИКА.

Величины длин плат определены стандартным рядом ЕВРОМЕХАНИКА: 100, 160, 220, 280 мм.

Плата с габаритами 100 × 160 мм называется *европлатой*, плата с габаритами 233 × 160 мм называется *двойной европлатой*. Платы с габаритами 100 × 100 мм, 100 × 220 мм, 100 × 280 мм хотя и допустимы стандартом, но получили очень малое распространение.

Максимальная ширина рамы рассчитывается как 19 × 25,4 мм = 482,6 мм (19″). Это расстояние от края до края, включает в себя полезную ширину рамы.

Максимально полезная ширина для встраивания плат рассчитывается как 84 × *TE* (5,08 мм) = 426,72 мм. Широко распространены рамы шириной 42*TE*, 63*TE*, 84*TE*.

Высота рамы рассчитывается как $N \times HE - 0{,}8$ мм.

П р и м е р. Рама высотой 3*HE* имеет высоту 132,55 мм, высотой 6*HE* – 265,9 мм. Разумеется, никто не выпускает рамы с точностью размеров до 0,1 мм. Обычно все величины округляются до значений удобных в производстве, но так, чтобы изделие было совместимо со стандартными узлами других производителей.

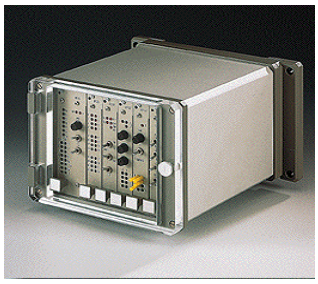


Рис. 5.8. Вид блока ЭС на основе несущей конструкции Profitronic 19

Необходимо учитывать, что при покупке рам, кассет, стоек и принадлежностей у одного производителя все конструктивные разбросы учтены и изделия подходят друг к другу оптимальным образом, т. е. без щелок, пазов и других элементов несоответствия размеров.

Глубина рамы или стойки вычисляется по формуле $N \times 60 + 115{,}84$ мм.

Ширина лицевых панелей рассчитывается как $N \times TE$ (мм).

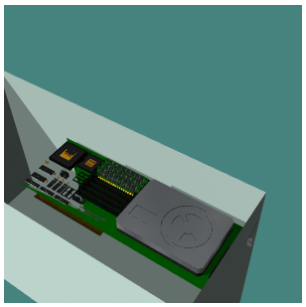
На рис. 5.8 приведена конструкция стандарта 19″.

5.5. Характеристика защиты от внешних воздействий корпусом

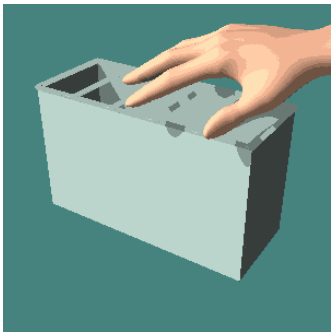
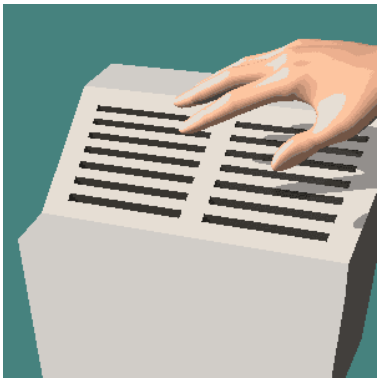
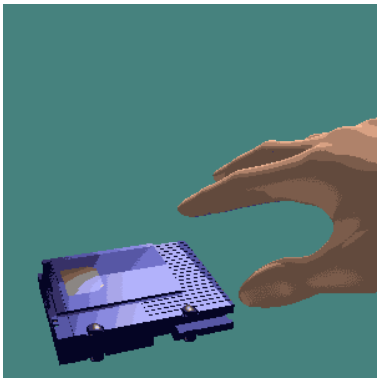
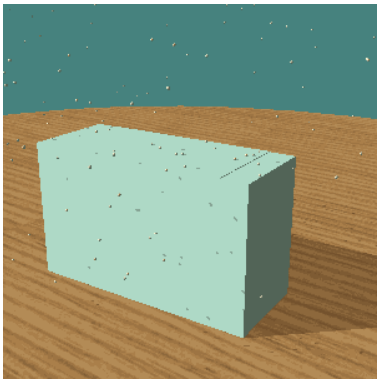
Как было сказано выше, несущая конструкция (корпус) часто выполняет функции защиты от внешних воздействий, которую можно рассматривать с точки зрения защиты от проникновения предметов внутрь оболочки (в том числе от прикосновения к токоведущим частям приборов), а также с точки зрения влагозащиты. Поэтому на международном уровне разработаны критерии оценки степени защиты корпусом с указанных точек зрения.

Таблица 5.1

Характеристика степеней защиты от воздействия пыли

Первая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
0	**Нет защиты** Открытая конструкция, никакой защиты от пыли, никакой защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям	

Продолжение табл. 5.1

Первая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
1	**Защита от крупных предметов** Защита от проникновения в конструкцию крупных предметов диаметром более 50 мм. Частичная защита от случайного касания токоведущих частей человеком (защита от касания ладонью) Активный компонент	
2	**Защита от предметов среднего размера** Защита от проникновения внутрь предметов диаметром более 12 мм. Защита от прикосновения пальцами к токоведущим частям Активный компонент	
3	**Защита от мелких предметов** Конструкция не допускает проникновения внутрь предметов диаметром более 2,5 мм. Защита персонала от случайного касания токоведущих частей инструментами или пальцами Активный компонент	
4	**Защита от песка** В конструкцию не могут попасть предметы диаметром более 1 мм. Конструкция защищает от прикосновения к токоведущим частям инструментами или пальцами Активный компонент	

Окончание табл. 5.1

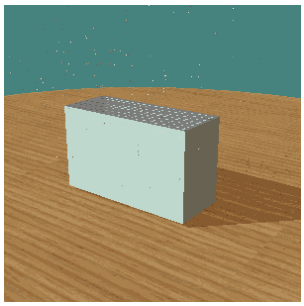
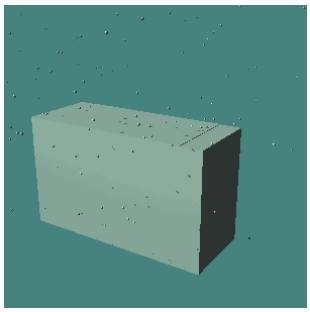
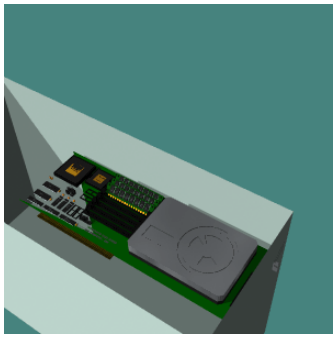
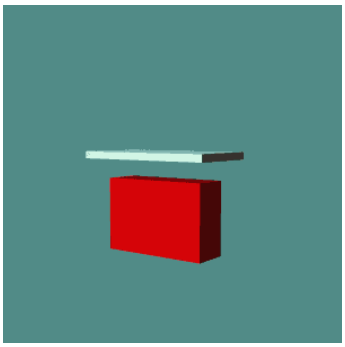
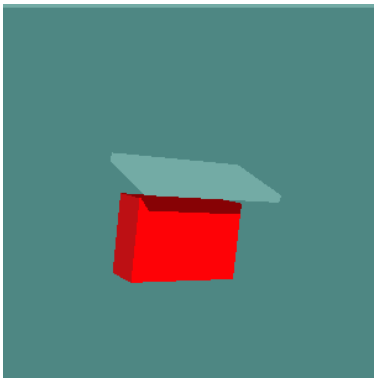
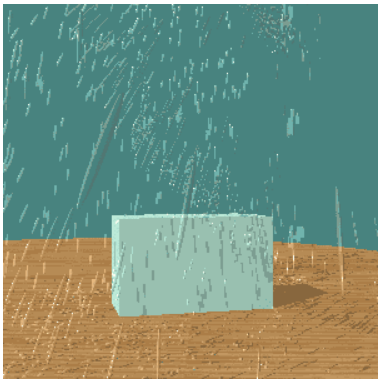
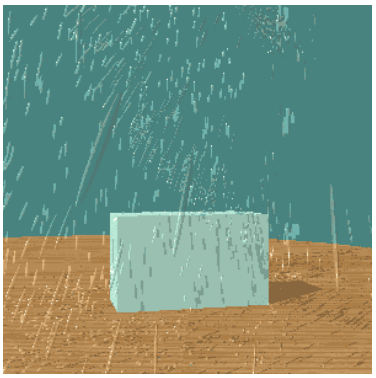
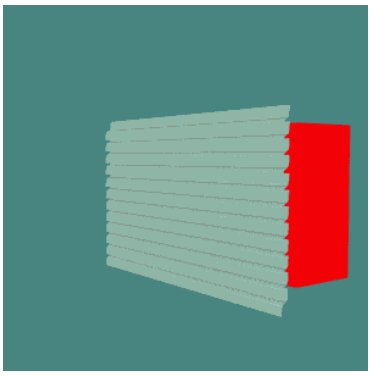
Первая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
5	**Защита от накопления пыли** Пыль может попасть в корпус в незначительном количестве, не препятствующем нормальной работе оборудования Активный компонент	
6	**Полная защита от пыли** Никакая пыль не может проникнуть внутрь конструкции Активный компонент	

Таблица 5.2

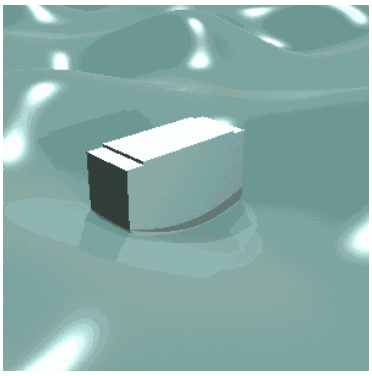
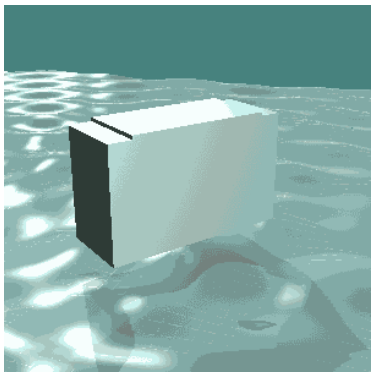
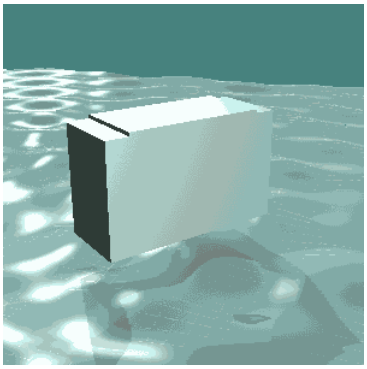
Характеристика степеней защиты от воздействия влаги

Вторая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
0	**Нет защиты** Нет защиты от брызг воды	
1	**Защита от капель, падающих вертикально** Капли воды, падающие вертикально, не могут вызвать опасных последствий для оборудования Активный компонент	

Продолжение табл. 5.2

Вторая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
2	**Защита от капель, падающих под углом** Капли воды, падающие под углом 15°, не могут вызвать опасных последствий Активный компонент	
3	**Защита от брызг** Изделие защищено от брызг воды, падающих под углом до 60° Активный компонент	
4	**Защита от брызг в любом направлении** Конструкция защищена от брызг воды, которые могут быть направлены на изделие с любого направления Активный компонент	
5	**Защита от струй воды** Струи воды, направленные, например, из шланга, не причинят вреда размещенному в корпусе оборудованию Активный компонент	

Окончание табл. 5.2

Вторая цифра	Краткое наименование и характеристика защиты	Пример
6	**Защита от залива водой** Залив оборудования водой, например на палубе корабля, не приводит к повреждению оборудования Активный компонент	
7	**Защита от погружения** Корпус может быть полностью погружен в воду, что не приводит к повреждению размещенного в нем оборудования Активный компонент	
8	**Защита от погружения в воду под давлением** Конструкция выдерживает без последствий погружение в воду на определенную глубину (защита от воды под давлением, причем величина давления указывается специально) Активный компонент	

Характеристика степеней защиты International Protect (IP) приведена в табл. 5.1 и табл. 5.2.

Обозначение степени защиты производится в виде *IP XX*, где первая цифра *X* указывает степень защиты от проникновения пыли, а вторая – от влаги.

Лекция 17

План лекции

5.6. Основные конструкционные материалы.
5.6.1. Черные металлы и сплавы.
5.6.1.1. Характеристики некоторых марок литейных сталей.
5.6.1.2. Конструкционные стали.
5.6.1.3. Электротехнические материалы.
5.6.2. Алюминий и его сплавы.
5.6.2.1. Алюминиевые деформируемые сплавы (основные марки).
5.6.2.2. Сплавы алюминиевые литейные.
5.6.3. Медь и ее сплавы.
5.6.3.1. Латунь.
5.6.3.2. Бронза.
5.6.4. Пластмассы.
Контрольные вопросы.
Литература: [2, 43, 44].

5.6. Основные конструкционные материалы

В конструкциях электронных средств используются разнообразные металлы, сплавы на их основе, пластмассы, резины, керамика и т. д. Выбор того или иного материала определяется в первую очередь их свойствами, назначением и стоимостью.

Во внимание принимаются такие свойства, как:

- плотность;
- обрабатываемость;
- рабочий температурный диапазон;
- коррозионные свойства;
- способность к нанесению покрытий и др.

5.6.1. Черные металлы и сплавы

К черным металлам и сплавам относят железо, стали и чугуны.

Чистое железо для конструкций ЭС, как правило, не используется. Основное применение имеют *стали* – сплав железа с углеродом. Стали, в зависимости от методов изготовления деталей, делятся на две группы: *литейные* и *конструкционные*.

Литейные стали применяются для получения литьем механически нагруженных изделий, например несущих конструкций антенн (рис. 5.9).

Конструкционные стали выпускаются в виде листового или фасонного проката (прутки, трубы, угольники и т. д.).

Рис. 5.9. Пример несущей конструкции антенны

Основные применяемые марки литейных сталей (ГОСТ 4543) – 15Л, …, 55Л; 20ГЛ, 35ГЛ; 20Х13Л.

5.6.1.1. Характеристика некоторых марок литейных сталей

Сталь 40ХЛ-III – сталь с нормируемыми химическим составом, пределом текучести и относительным удлинением.

Сталь 40Л-III – пластичная, сваривается, обрабатывается резанием, применяется для деталей сложной конфигурации при повышенных требованиях к механическим свойствам.

Сталь 20Х13Л применяется в легких условиях эксплуатации без покрытия.

5.6.1.2. Конструкционные стали

Имеется несколько типов конструкционных сталей, выпускаемых в виде различного сортамента: листы, плиты, уголки, швеллера и т. д. (рис. 5.10).

Рис. 5.10. Пример применения конструкционных сталей
в несущих конструкциях ПЭВМ (листовой материал для кожуха)

Тип проката – горячекатаный или холоднокатаный – в первую очередь определяет состояние поверхности и внутреннюю структуру.

Холоднокатаный материал отличает шероховатость поверхности порядка 4-го класса (Rz 40) и наиболее выраженная структурированность (в виде волокон), влияющая на механические свойства (например, предел прочности на разрыв разный для направлений вдоль и поперек волокон).

На свойства сталей также влияет технология их получения, особенно степень раскисления:

сп – спокойная;

пс – полуспокойная;

кп – кипящая.

Для деталей «сп» раскислителем является состав *марганец* + *кремний* + + *алюминий*. В этом случае влияние кислорода мало́, сталь получается более качественной.

Для сталей «пс» раскислителем является состав *марганец* + *алюминий*. Для сталей «кп» раскислитель – *марганец*.

Качество сталей «пс» и «кп» хуже: ниже коррозионная стойкость. Однако их стоимость меньше стоимости спокойной стали.

Полную совокупность свойств сталей определяет прежде всего содержание углерода (от 0,03 до 1 %). Чем больше содержание углерода, тем больше твердость материала, лучше обрабатываемость резанием, хуже пластичность и свариваемость. Для получения особых свойств сталей используют различные легирующие добавки: хром, кремний, молибден, ванадий и др.

Поскольку стали довольно активно корродируют даже в легких условиях эксплуатации (за исключением нержавеющих сталей, стоимость которых в 10–20 раз выше стоимости обычных конструкционных сталей), поверхности стальных изделий обязательно защищают гальваническими и лакокрасочными покрытиями.

5.6.1.3. Электротехнические материалы

Особый класс черных металлов составляют электротехническое железо и стали. Эти материалы легированы кремнием (что повышает их удельное сопротивление) и характеризуются малыми потерями вихревых токов и повышенной магнитной проницаемостью в электромагнитных полях.

К низкоуглеродистым материалам относится электротехническое железо марок Э, ЭА, ЭАА (ГОСТ 9925). Они хорошо свариваются, пластичны, обладают большей индукцией насыщения и малой коэрцитивной силой.

Электротехническое железо применяется для изготовления сердечников реле, трансформаторов, магнитных и электромагнитных экранов.

П р и м е р ы марок: Э12, Э31, Э41, Э43, Э310, ЭА320.

Первая цифра отражает степень легирования кремнием.

Вторая (1–8) – свойства:

1, 2, 3 – для работы на частоте 50 Гц;

4, 5, 6 – для работы на частоте 400 Гц;

7, 8 – особые свойства в слабых полях;

1, 4 – нормальные потери;

2, 5 – пониженные потери;

3, 6 – низкие потери.

Третья цифра (0) – сталь холоднокатаная сильнотекстурированная с минимальными потерями. Вдоль направления проката индукция напряжения больше.

Третья и четвертая цифры (00) – сталь холоднокатаная малотекстурированная с минимальными потерями.

А – особо низкие удельные потери.

Для работы на повышенных частотах предназначен пермаллой (сплав железа с никелем).

Марки 50Н и 50НП (прямоугольная петля гистерезиса и высокая магнитная проницаемость) применяются для изготовления сердечников магнитных усилителей.

Марки 79НМ и 80НХС (обладают наивысшей магнитной проницаемостью) используются для изготовления сердечников трансформаторов и дросселей, работающих в слабых полях и на высоких частотах, и характеризуются силой магнитной индукции свыше 15000 Гс.

5.6.2. Алюминий и его сплавы

Плотность алюминия и его сплавов лежит в пределах 2,7–2,9 г/см^3. Он обладает хорошей тепло- и электропроводностью и, в большинстве случаев, высокой пластичностью. Прочность сравнительно невысокая. Коррозионная стойкость сильно зависит от условий эксплуатации:

- влажная среда – хорошая;
- кислая среда – удовлетворительная;
- щелочная среда – низкая.

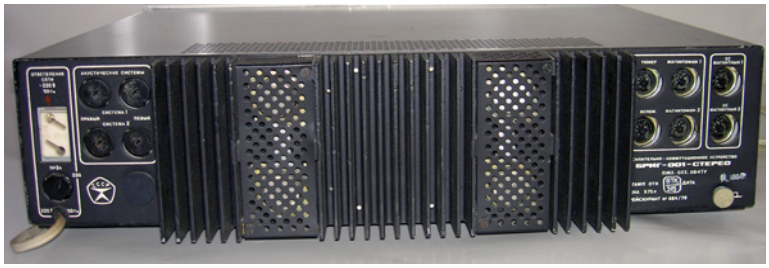
Жаропрочность и жаростойкость невысокая.

Сварка для всех марок точечная. Дуговая сварка – в среде защитных газов, только для нескольких марок.

Паяемость низкая, только специальными типами припоев.

Применение в конструкциях ЭС алюминиевых сплавов обусловлено в первую очередь их низкой плотностью и хорошей обрабатываемостью. Из этих материалов изготавливают элементы несущих конструкций, органы управления, передние и лицевые панели приборов и устройств (рис. 5.11, *а*), радиаторы (рис. 5.11, *б*).

а



б

Рис. 5.11. Применение алюминиевых сплавов

В зависимости от назначения детали и серийности производства могут применяться алюминиевые деформируемые или литейные сплавы.

5.6.2.1. Алюминиевые деформируемые сплавы (основные марки)

Алюминий марок АД0, АД1 применяют в производстве изделий, изготавливаемых давлением. Сплав АД1 обладает высокой пластичностью, электро- и теплопроводностью. Применяется без термической обработки. Удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается, паяется. Используется для изготовления ненагруженных корпусных деталей, получаемых листовой штамповкой и выдавливанием.

Сплав АМц, легированный марганцем, поставляется в двух состояниях:

АМцМ – мягкий – для изделий, изготавливаемых глубокой выдержкой;

АМцП – полунагартованный – обладает более высокой прочностью.

Сплав АМц хорошо деформируется в холодном и горячем состояниях, хорошо сваривается, обрабатываемость резанием пониженная. Коррозионная стойкость как у чистого алюминия. Используется для изготовления ненагруженных корпусных деталей, с применением сварки и гибки.

Сплавы АМг1, …, АМг6 легированы магнием. С увеличением количества магния твердость и прочность повышаются. Свариваются аргонодуговой сваркой. Например, у сплава АМг5 коррозионная стойкость и деформируемость пониженная, хорошо обрабатывается резанием, сваривается.

Сплав АМг1 применяется для изделий, изготавливаемых глубокой вытяжкой.

Дюралюминий (сплав с медью и магнием) марок Д1, …, Д16 поставляется в двух состояниях:

Д1АМ, …, Д16АМ – мягкий, для изделий, изготавливаемых давлением и глубокой вытяжкой;

Д1АТ, …Д16АТ – твердый, обладает повышенной прочностью, хорошо обрабатывается резанием.

Сплав Д16 хорошо сваривается точечной сваркой, паяется. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. В морской воде корродирует. Используется для изготовления средненагруженных деталей, обрабатываемых резанием, в том числе с применением точечной сварки.

Материал АПМ – алюминий, плакированный медью. Применяется для изготовления шин заземления, хорошо паяется. Главное требование при изготовлении деталей – не нарушать защитную пленку меди. В противном случае алюминий быстро корродирует.

5.6.2.2. Сплавы алюминиевые литейные

Выпускаются следующие группы сплавов алюминиевых литейных:

группа I – легированные кремнием и магнием;

группа II – легированные кремнием и медью;

группа III – легированные медью;

группа IV – легированные магнием;

группа V – легированные прочими компонентами.

Наиболее часто применяют следующие марки:

АЛ2 – высокие литейные свойства: жидкотекучесть, малая усадка, высокая пластичность. Коррозионная стойкость умеренная. Свариваемость, обрабатываемость резанием хорошие. Применяется для изготовления сложных корпусных деталей, не несущих большие нагрузки;

АЛ8 обладает высокими коррозионными свойствами в обычной и морской воде. Удовлетворительные литейные свойства. Хорошая обрабатываемость резанием;

АЛ5-1 – хорошие литейные свойства, пластичность пониженная. Коррозионная стойкость пониженная. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Прочность повышенная. Рабочие температуры – до 250–270 °С. Применяется для изготовления деталей при повышенных требованиях к прочности при высоких температурах.

5.6.3. Медь и ее сплавы

Плотность меди – 8,9 г/см^3. Медь выпускается марок М0, М1, М2, М3.

Цифра в обозначении марок указывает на содержание неконтролируемых примесей. Наиболее чистая медь – марка М0 применяется для изготовления токопроводящих деталей, экранов. Пластичность высокая, что позволяет изготавливать изделия гибкой. Марка М3 менее токо- и теплопроводна из-за повышенного содержания примесей. Более химически и механически прочная. Применяется для крепежных изделий.

5.6.3.1. Латунь

Латунь – сплав меди с цинком.

Латуни, содержащие менее 30 % цинка, высокопластичны и применяются, как правило, для деталей, изготавливаемых давлением. При содержании цинка более 30–50 % они имеют более высокую прочность и лучшую обрабатываемость резанием.

Латуни, содержащие свинец, относятся к сплавам повышенной обрабатываемости резанием.

Наиболее часто применяют следующие марки латуни:

Л90 – для изделий штампуемых и изготавливаемых глубокой вытяжкой;

Л63 – для деталей, изготавливаемых давлением. Обрабатывается резанием удовлетворительно;

свинцовистая латунь ЛС59-1 – для деталей, обрабатываемых резанием, и СВЧ-аппаратуры, для изделий тропического исполнения;

оловянистая латунь ЛО60-1 – для деталей, работающих в морском климате.

Все латуни хорошо свариваются.

5.6.3.2. Бронза

Бронза – сплав меди с оловом и другими металлами.

Основные марки:

Бр АМц-9-1 – литейный сплав, хорошо обрабатывается давлением в холодном состоянии;

Бр АЖ-9-4 – высокие коррозионные свойства, антифрикционные свойства, повышенная прочность. Свариваемость и деформируемость удовлетворительные. Обрабатываемость резанием хорошая.

Применяется для изготовления нагруженных деталей, в том числе вибрационной и знакопеременной нагрузкой;

Бр КМц 3-1 – для пружинных деталей;

бериллиевая бронза Бр Б2 – для пружинных деталей. Имеет высокие коррозионные свойства, высокие прочность и пружинность. Применяется для изготовления пружин, работающих при повышенных температурах (до 350 °С);

Бр ОФ 4-0,25 – для пружинных деталей.

5.6.4. Пластмассы

При выборе пластмассы в качестве материала детали необходимо помнить, что пластмассовые изделия имеют свои особенности, связанные с физико-механическими свойствами и технологией их изготовления. Переход к

пластмассам обусловлен требованиями обеспечения высокой технологичности.

Пластическими массами называют материалы, обладающие в определенных условиях (повышенные температура и давление) пластичностью и перерабатываемые в изделия при помощи деформации. Из пластмасс изготавливаются и полуфабрикаты – листы, прутки и другие фасонные изделия. Последние называются *конструкционными пластмассами*.

Технология производства деталей из пластмасс имеет следующие преимущества:

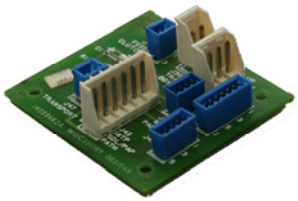
- возможность получения деталей сложной формы при малых затратах времени;
- отсутствие необходимости отделочных операций после изготовления деталей.

По сравнению с металлическими материалами пластмассы имеют следующие *преимущества*:

- высокие диэлектрические параметры, что особенно важно для ЭС (проще обеспечить электробезопасность конструкции);
- меньший удельный вес;
- лучшая химическая и водостойкость;
- прозрачность или полупрозрачность;
- лучшая стойкость к вибрациям;
- способность поглощать удары и звук;
- большое сопротивление к истиранию и износу, возможность применения без смазки трущихся поверхностей;
- более легкая обрабатываемость;
- возможность сплошной окраски;
- меньшая стоимость;
- стабильность геометрических размеров при изменении температуры.

Недостатки пластмасс:

- меньшая прочность;
- большое тепловое сопротивление;
- повышенная хрупкость при пониженных температурах;
- повышенная мягкость и пластичность;
- изменение размеров в результате влагопоглощения;
- способность к воспламенению;
- изменение свойств под воздействием ультрафиолетового излучения.



а *б* *в*

Рис. 5.12. Изделия из пластмасс: *а* – шкала; *б* – печатная плата корпуса разъемов; *в* – корпус монитора

Из пластмасс изготавливают обширную номенклатуру деталей: от корпусов приборов и других несущих деталей конструкции до художественных шильдиков (рис. 5.12).

По составу пластмассы делятся на две основные группы:

- состоящие из смол;
- состоящие из смол с включением различных добавок.

Основными компонентами второй группы являются:

- связующие вещества;
- наполнители;
- красители;
- пластификаторы;
- ускорители.

Связующее вещество является важнейшей составной частью. Оно придает пластмассе свойство формироваться в монолитную деталь после отверждения. В качестве связующего вещества в пластмассах применяют искусственные смолы: фенолформальдегидную, полиамидную и др.

Количество связующего материала в пластмассе – 30–60 %.

Наполнитель (40–65 %) оказывает влияние на механические и температурные свойства, например на нагревостойкость. Наполнители делятся на органические и неорганические.

Виды наполнителя:

- *листовой* обеспечивает максимальную механическую прочность. Изготовление деталей механическими способами;
- *волокнистый* – прочность ниже, чем у листового, и уменьшенное влагопоглощение. Методы изготовления деталей – механическая обработка, прессование, пресс-литье;
- *порошковый* – прочность ниже, чем у волокнистого, и уменьшенное влагопоглощение. Методы изготовления деталей – механическая обработка, прессование, пресс-литье;
- *газовоздушный* – уменьшение массы, прочности, уменьшение теплопроводности. Методы изготовления деталей – механическая обработка, прессование, пресс-литье.

Для окрашивания пластмасс в них добавляют *красители* (до 5 %).

Пластификаторы (до 5 %) применяют для изменения физико-механических свойств: хрупкости, морозостойкости и т. д.

Ускорители (до 7 %) добавляют для ускорения процесса полимеризации.

Применяемые в производстве ЭС основные виды пластмасс можно классифицировать по способу изготовления:

- конструкционные;
- термореактивные (*реактопласты*): горячего и холодного прессования;
- термопластичные.

Реактопласты горячего прессования твердеют и превращаются в деталь при нагревании в пресс-форме под давлением.

Реактопласты холодного прессования подвергаются формовке в холодной пресс-форме под давлением, после чего деталь извлекается из пресс-формы и проходит термообработку в печи до полной полимеризации материала.

Преимущества холодного прессования – высокая производительность, однако, вследствие высокой текучести материала, детали могут быть только толстостенные и нельзя получить зеркальную поверхность.

Термопласты после горячего прессования не теряют способности плавиться под воздействием температуры и (для ряда материалов) растворяться в органических растворителях.

Применяемые в производстве ЭС пластмассы можно классифицировать по целевому назначению:

- конструкционные (обладают, как правило, повышенными механическими свойствами);
- электроизоляционные;
- теплостойкие;
- фрикционные (с увеличенным коэффициентом трения и уменьшенным износом);
- антифрикционные (с уменьшенным коэффициентом трения);
- тепло- и звукоизоляторы;
- тропически стойкие.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под термином «несущая конструкция»? Какие виды несущих конструкций вы знаете?
2. Перечислите главные задачи разработки конструкции блока.
3. Назовите необходимые условия выбора компоновочной схемы блока.
4. Какие конструкции блоков вы знаете?
5. Назовите основные достоинства книжной компоновки блоков.
6. Благодаря каким конструктивным изменениям достигается гибкость системы ЕВРОМЕХАНИКА?
7. Какие вам известны зарубежные несущие конструкции?
8. Какими степенями характеризуется защита ЭС от внешних воздействий?
9. Какие черные металлы и сплавы вы знаете? Назовите их основные марки.
10. Назовите основные характеристики алюминия.
11. Проведите сравнительный анализ материалов, используемых в конструкциях электронных средств, перечислите достоинства и недостатки этих материалов.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО МОНТАЖА

Лекция 18

П л а н л е к ц и и

6.1. Виды электрического монтажа.
6.2. Объемный электрический монтаж.
6.3. Основные требования, предъявляемые к электрическому монтажу.
6.4. Классификация электрических линий связи.
6.5. Правила проектирования объемного монтажа.
Л и т е р а т у р а: [4, 16, 22].

6.1. Виды электрического монтажа

Современные электронные устройства выполняют сложные функции по приему, обработке и передаче информации. Это обусловливает наличие в составе даже одного устройства, не говоря уже о радиотехническом комплексе, большого числа различных функциональных элементов. Достигнутый в настоящее время уровень интеграции ФУ не позволяет выполнить достаточно сложную ЭС в одном корпусе ИС (в ряде случаев это не выгодно с экономической точки зрения). Даже если обработка информации реализована в пределах одного кристалла, то необходим интерфейс по приему и передаче информации, включая взаимодействие с оператором или пользователем ЭС.

Кроме того, наличие определенной дискретизации как на уровне отдельных компонентов, так и на уровне ФУ позволяет быстро производить обслуживание, гибко осуществлять модернизацию и создавать новые изделия на существующей элементной базе.

Ввиду указанных причин, конструкции современных ЭС строятся по принципу последовательного усложнения путем конструктивного объединения более простых узлов. Это ведет к образованию конструктивной иерархии (рис. 6.1). Конструктивно законченное изделие превращается в *единое функциональное устройство* с помощью объединения *линиями передачи информации* различных иерархических единиц, расположенных на различных *несущих конструкциях* (рис. 6.1).

Как видно из рис. 6.1, существуют различные виды линий связи (ЛС), предназначенных для передачи различных по физической природе сигналов и различных по конструктивному исполнению (рис. 6.2).

Поскольку ЭС отличается функциональным назначением и видом передаваемого сигнала, а также разнообразием способов контактирования даже на одном иерархическом уровне, то использовать какой-либо один тип ЛС не представляется возможным. Поэтому в реальных конструкциях применяют разнообразные типы ЛС.

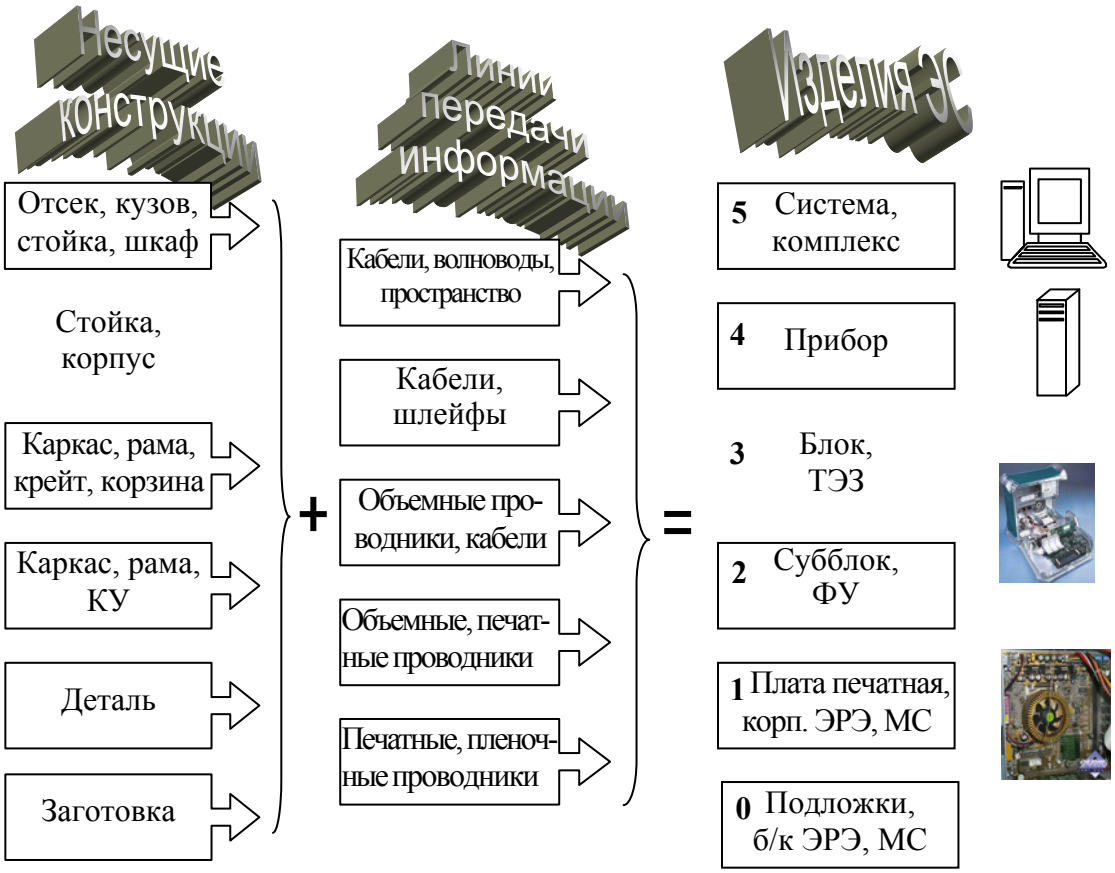


Рис. 6.1. Основные составляющие изделий ЭС

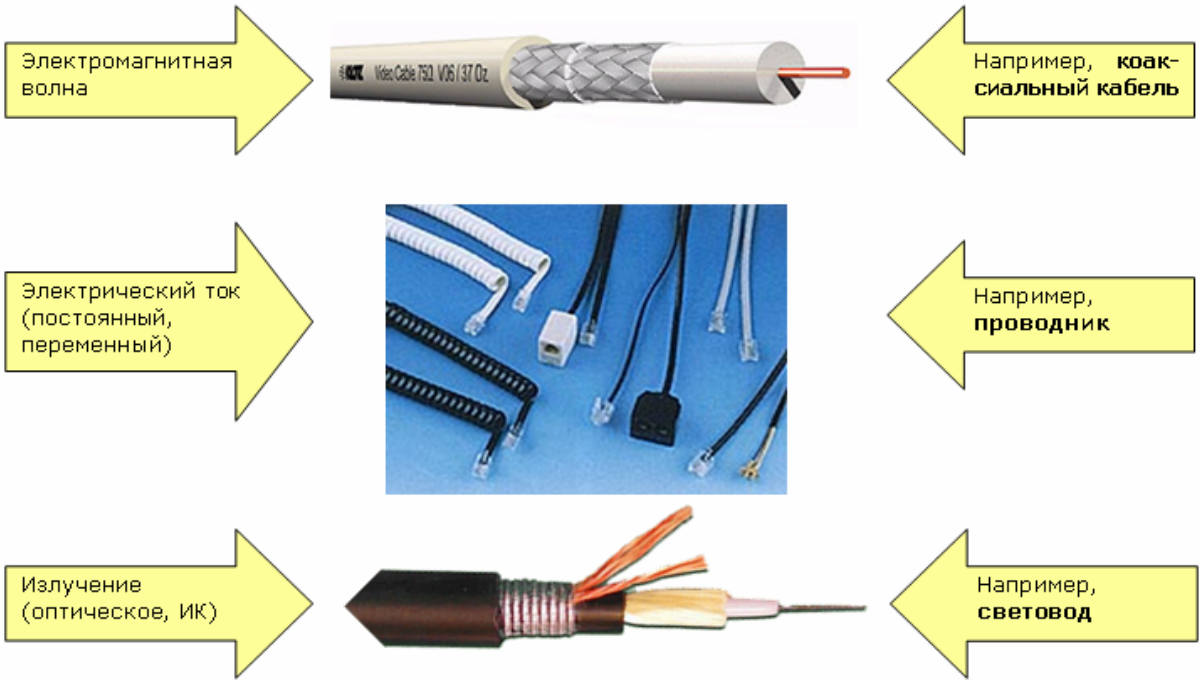


Рис. 6.2. Виды линий связи

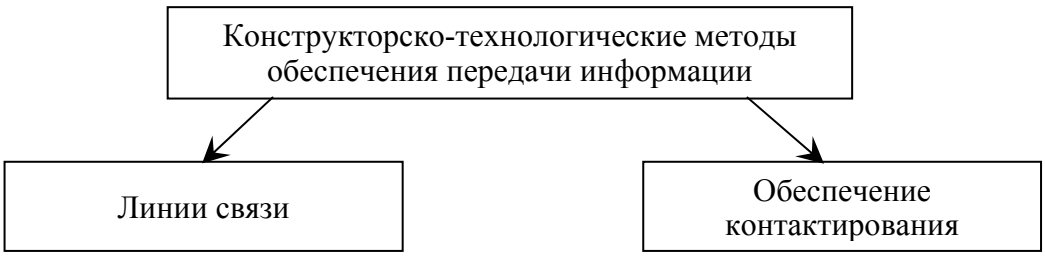


Рис. 6.3. Обеспечение передачи информации

При этом на *каждом иерархическом уровне* для передачи информационных сигналов обычно *используют ограниченное число конструктивных исполнений линий связи* – отдельные проводники, сборки проводов и пр.

Так, на первом конструктивном уровне обычно используется *пленочная межконтактная коммутация* и *неразъемное контактирование*.

На втором и третьем уровнях преимущественно используется *печатный и пленочный монтаж*, *пайка и разъемные соединения*.

На третьем частично и в основном на более высоких уровнях применяют соединения с помощью гибких печатных кабелей (*ГПК*), *плоских кабелей*, *объемных проводников*.

На пятом уровне – *кабели* (электрические и оптические) и *разъемное контактирование*.

Вопросы проектирования линий передачи СВЧ-сигналов – *волноводов*, *микрополосковых линий* и т. д. – здесь не рассматриваются. Основное внимание при изучении данной темы будет уделено проектированию и применению электрического и объемного монтажа в радиотехнических устройствах и приборах.

Вопросы проектирования линий связи тесно связаны еще с одним аспектом – *обеспечением контактирования*, т. е. обеспечением надежной передачи информации в месте соединения различных проводящих элементов (рис. 6.3). В данном контексте не важно, что проводится – электромагнитная волна, световой поток или электрический ток.

Электрические (оптические) соединения бывают внутри- и межмодульными, внутри- и межъячеечными, внутри- и межблочными и т. п., что обусловливает их конструктивное исполнение.

6.2. Объемный электрический монтаж

Электромонтаж – часть конструкции, предназначенная для обеспечения электрически неразрывных связей при объединении нескольких элементов нижестоящего иерархического уровня в элементы вышестоящего конструктивного уровня. Например, монтаж ЭРЭ на печатную плату приводит к образованию сборочной единицы – печатного узла (рис. 6.4).

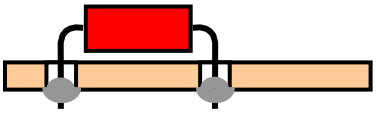


Рис. 6.4. Монтаж ЭРЭ на печатную плату

Можно без преувеличения сказать, что электрический монтаж встречается во всех радиоэлектронных аппаратах, или изделиях с применением электроники. Поскольку даже при передаче информации неэлектрическими сигналами (другими способами) всегда при ее переработке (изменении, усилении и т. д.) требуются затраты электрической энергии, следовательно, подключение источников первичного или вторичного электропитания обусловливает наличие электромонтажа.

Если оценивать трудоемкость электромонтажных работ, то она составляет 40–60 % от трудоемкости всего изделия. При использовании объемного провода на его долю приходится 20–35 % всего объема ЭС, на печатный монтаж – 10–15 %. Общее число контактных соединений в ЭС 3–4-го поколений соизмеримо с общим числом функциональных элементов, что обусловливает сильную зависимость надежности ЭС от надежности электромонтажа.

Электронные средства содержат разнообразные функциональные элементы и модули, отличающиеся видом обрабатываемых сигналов (мощностью, частотой, формой и пр.). При передаче по линиям связи (ЛС) электрических сигналов происходит их затухание, искажение формы и изменение спектра. Искажение сигнала определяется степенью рассогласования параметров электронных схем (например, входного и выходного сопротивлений) с характеристиками ЛС, взаимным влиянием ЛС друг на друга, задержкой сигналов из-за конечного времени прохождения сигналов по ЛС. Параметры линий связи регламентируют максимальную мощность, передаваемую по ним, а также рассеивают в окружающее пространство электромагнитную энергию.

6.3. Основные требования, предъявляемые к электрическому монтажу

Электрический монтаж должен:

1. Обладать способностью передавать электрические сигналы в широком диапазоне частот, токов и напряжений.

2. Обеспечивать минимальные искажения и задержку сигналов (иметь минимальные активное и индуктивное сопротивления и однородное по длине линии волновое сопротивление).

3. Обеспечивать минимальный уровень помех (иметь минимальное поле вокруг линии при протекании по ней тока).

4. Обеспечивать нормальную работу в заданных условиях механических и климатических воздействий.

5. Соответствовать ТУ, Э3, МЭ и другим документам.

6. Обеспечивать высокую надежность соединений.

7. Допускать удобную и быструю замену вышедших из строя ЭРЭ.

8. Допускать возможность подключения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) к любой точке схемы.

9. Быть технологичным (обеспечивать способность к автоматизации при проведении монтажных работ).

10. Иметь низкие массу и стоимость.

6.4. Классификация электрических линий связи

Классифицировать электрические линии связи (ЭЛС) можно по функциональному назначению, конструктивному исполнению, по связи между конструктивными характеристиками и параметрами передаваемого электрического сигнала или по организации передачи сигнала.

По выполняемым функциям различают:

- *сигнальные цепи*, предназначенные для передачи сигналов. Они объединяют входы и выходы элементов, модулей и блоков;
- *цепи управления и синхронизации*, обеспечивающие заданное функционирование функциональных узлов;
- *линии электропитания*, служащие для подвода электрической энергии к активным элементам.

Сигнальные линии и линии электропитания обязательно имеют обратный провод, называемый *землей* (общий провод, линия нулевого потенциала). По нему протекают возвратные токи сигнальных линий и линий электропитания.

В зависимости от конструктивных особенностей обратного провода электрические линии подразделяют:

- на *симметричные*, состоящие из двух одинаковых проводников (один провод служит для передачи прямого тока, другой – обратного);
- *несимметричные*, с одним общим проводом для многих цепей;
- *коаксиальные*, представляющие собой два цилиндрических проводника с совмещенными осями (обратный ток протекает по оплетке коаксиального кабеля).

Основой электрической линии связи является проводник тока – металлическая проволока (провод), пленочные и печатные проводники (рис. 6.5). Провода защищают изолирующими диэлектрическими оболочками либо оболочками и экранами. По форме провода бывают круглыми или прямоугольными, пленочные и печатные проводники – только прямоугольными.

Экраны (металлическая оплетка) в линиях связи обеспечивают защиту линий от воздействия электрических, магнитных и электромагнитных полей.

Рис. 6.5. Виды электрического монтажа

Обычно цепи электропитания выполняют объемными проводами, пленочными и печатными проводниками, иногда проводящими пластинами. Конструктивное исполнение сигнальных ЛС более разнообразно и во многом определяется видом и частотным диапазоном передаваемых сигналов. Правильно применить ту или иную ЛС можно, лишь оценив характер искажения и затухания сигналов.

В зависимости от спектра передаваемого сигнала сигнальные линии связи делят: на *электрически длинные* и *электрически короткие*. Характер искажения сигналов в них различен.

При моделировании электрических процессов в короткой ЛС сопротивление R, индуктивность L и емкость C рассматривают как сосредоточенные элементы. В общем случае при передаче сигнала по линии связи происходит уменьшение амплитуды на выходе ЛС, а наличие частотно-зависимых элементов (L и C) приводит к фазовому сдвигу синусоидального сигнала и искажению формы и временной задержке импульсного сигнала.

Понятно, что R, L, C, а также взаимная индуктивность M являются паразитными параметрами, и их значения необходимо сводить к минимуму. Уменьшения сопротивления добиваются выбором материалов с низким удельным сопротивлением. Значения R и L снижают уменьшением длины и увеличением сечения проводников, однако последнее увеличивает массу и в конечном итоге стоимость изделия.

Величину паразитной емкости снижают следующими действиями: уменьшением длины параллельно идущих проводников; увеличением расстояния между ними; раскладкой проводов, передающих различные по уровням и частоте сигналы, в отдельные жгуты; использованием экранированных проводов, свитых пар и коаксиальных кабелей. Эти же меры снижают и взаимную индуктивность.

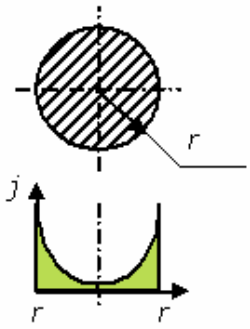


Рис. 6.6. Распределение ВЧ-тока по сечению

К длинным линиям при передаче гармонического сигнала относят линии, длина которых много больше длины волны. В электрически длинной линии связи параметры R, L, C фактически являются распределенными вдоль ее длины.

Сопротивление, индуктивность, емкость в длинных ЛС называют *погонными* (для единицы длины линии) и обозначают соответственно как $R_п$, $L_п$ и $C_п$.

Основной характеристикой электрически длинной линии является волновое сопротивление $Z_л$ – отношение электрической к магнитной составляющей (напряжение/ток) для электромагнитной волны, распространяющейся по линии.

При использовании длинных линий одним из важных моментов является согласование ее волнового сопротивления с сопротивлениями нагрузки. Следствием рассогласования волновых сопротивлений является эффект отражения электромагнитной волны от места рассогласования как от препятствия. Прямую волну называют *падающей* (ПВ), обратную – *отраженной* (ОВ).

Особенностью длинных линий является и то, что искажение формы импульсных сигналов может происходить и при полном согласовании. Искажения уменьшают применением коаксиальных линий высокого качества.

Рассмотрим еще один фактор, влияющий на качество передачи сигнала по ЛС. Это частотный диапазон. Высокочастотный (ВЧ) ток (переменный или импульсный) распределяется по сечению проводника неравномерно: его наибольшая плотность – у поверхности (рис. 6.6). Это связано с тем, что глубина проникновения поля в проводник зависит от частоты сигнала и свойств материала проводника. Такое явление называется *поверхностным* или *скин-эффектом*.

Негативное влияние скин-эффекта проявляется не только в увеличении сопротивления проводника переменному току, но и в искажении формы импульса, так как с увеличением частоты затухание в материале проводника увеличивается. Ослабление влияния поверхностного эффекта добиваются применением провода, свитого из большого числа изолированных друг от друга жил.

6.5. Правила проектирования объемного монтажа

Как было сказано, объемный монтаж наиболее широко применяется на высоких структурных уровнях, обычно начиная с четвертого, т. е. в конструкциях ЭС со сравнительно крупными узлами.

Объемный монтаж, как правило, используется в следующих случаях:

- для обеспечения нужной длины связи, передачи заданной мощности;
- для передачи сигнала со спектром до СВЧ;
- при надежном экранировании;
- при соединениях с плавающими контактами;
- при соединении накруткой;
- при соединении бескорпусных элементов с пленочными основаниями в ГИС;
- при макетировании.

При проектировании объемного монтажа необходимо придерживаться следующих правил.

Параллельно идущие в одной трассе, изолированные друг от друга провода должны быть связанными в жгут, если это не вызывает недопустимого увеличения взаимных наводок. Обычно цепи питания переменного тока прокладываются в отдельном жгуте. В жгутах, где затрудняется замена вышедших из строя проводов, должны привязываться запасные проводники (не менее 10 % от общего количества).

Экранированные провода, провода малых сечений и цепей первичного электропитания должны свиваться для локализации магнитного поля. Рекомендуемый шаг свивки приведен в табл. 6.1.

Жгуты и кабели должны крепиться скобами или мастикой (рис. 6.7). Это в первую очередь относится к изделиям специального назначения и круглым жгутам. Расстояние между скобами выбирается в зависимости от диаметра жгута (табл. 6.2).

Для защиты жгутов и кабелей от механических повреждений в местах их прохода сквозь стенки и шасси должны устанавливаться изоляционные втулки из пластмассы или резины (рис. 6.8).

Кроме этого, если к выходящему наружу кабелю может прилагаться вырывающее усилие, необходимо предусматривать дополнительное механическое крепление (рис. 6.9).

Таблица 6.1

Рекомендуемый шаг свивки

Сечение, мм	0,2	0,35	0,5	0,75 и более
Шаг, мм	15–20	20–25	30	40

Таблица 6.2

Расстояния между точками крепления в зависимости от диаметра жгута

Способ крепления	Шаг крепления *L*, мм			
	Диаметр жгута, мм			
	10	20	30	40
Скобы	150	200	250	300
Компаунд	80	150	200	200

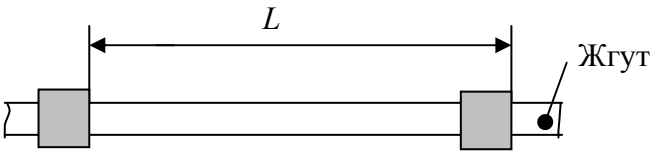


Рис. 6.7. Крепление жгута

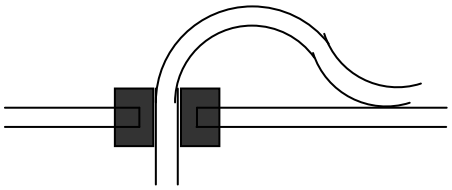


Рис. 6.8. Применение изоляционных втулок

Рис. 6.9. Применение механического крепления

При переходе жгутов с неподвижной части на подвижную следует располагать их таким образом, чтобы они работали не на изгиб, а на кручение. При этом уменьшается вероятность обрыва.

Провода и детали, соединяемые с входом и выходом усилительных приборов, должны располагаться на максимальном расстоянии от шасси, стенок и кожухов.

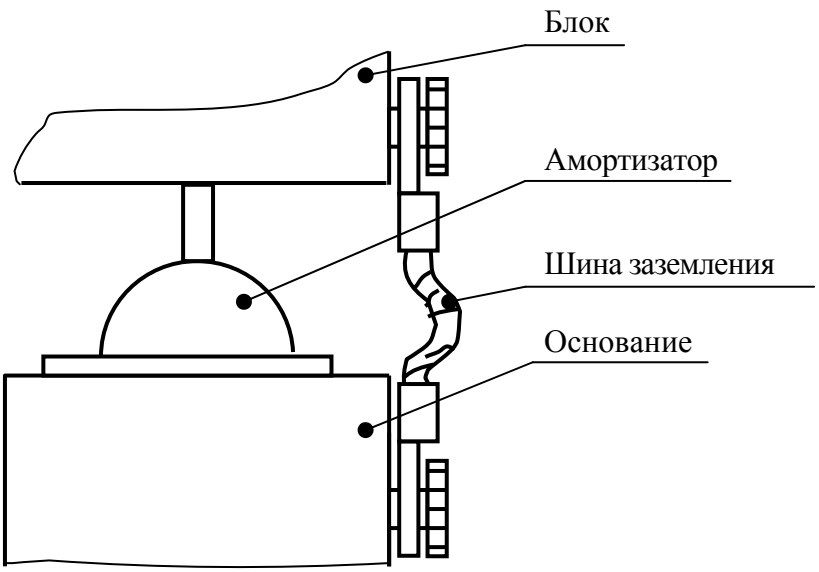


Рис. 6.10. Заземление блоков

Провода, входящие в цепи входа и выхода усилительных приборов, должны иметь минимальный диаметр, допустимый по соображениям механической прочности. В этих цепях лучше использовать голые жесткие провода, не позволяющие применить произвольную раскладку монтажа. Лучше всего в таких цепях обходиться совсем без проводов, присоединяя детали непосредственно друг к другу.

Для подключения контурных катушек и других деталей к входу и выходу усилительных приборов не рекомендуется применять дополнительных подпорок, проходных и опорных изоляторов и других подобных конструкций.

Присоединение деталей к корпусу должно производиться проводами минимальной длины в точках, ближайших к присоединяемой детали.

Элементы заземления должны быть расположены в легкодоступных местах. Использование для заземления крепежных деталей, не предназначенных для этой цели, не допускается.

Заземление корпусов приборов, расположенных на амортизаторах, должно производиться гибким многожильным проводом, длина которого должна быть не менее амплитуды вибрации блока (рис. 6.10).

Конструкция монтажа должна обеспечивать доступ к отдельным элементам с целью их осмотра, проверки и замены. Маркировочные знаки, нанесенные на шасси и деталях, не должны быть закрыты проводами и жгутами. Это допускается лишь в особомалогабаритной аппаратуре и аппаратуре разового действия.

Монтаж рекомендуется проводить проводами с различной окраской изоляционной оплетки: это позволяет уменьшить количество ошибок и упростить ремонт.

Лекция 19

П л а н л е к ц и и

6.6. Материалы для объемного монтажа.
6.7. Электромонтажные соединения.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [4, 15, 16, 22].

6.6. Материалы для объемного монтажа

Рассмотрим более подробно конструктивные особенности проводников, применяемых для объемного монтажа. Их классификация приведена на рис. 6.11.

Основным проводящим материалом, применяемым для объемных проводников, является чистая медь, обладающая высокой электро- и теплопроводностью. Широкое применение меди обусловлено ее хорошей паяемостью низкотемпературными припоями и возможностью нанесения на нее защитных токопроводящих покрытий.

К недостаткам чистой меди можно отнести низкую механическую прочность. Поэтому для изготовления проводов применяют также медные сплавы – латунь и бронзу, имеющие более высокие прочность и гибкость при некотором ухудшении проводимости.

Алюминиевые проводники в ЭС применяются достаточно редко, из-за плохой способности к контактированию пайкой.

Электрофизические характеристики основных материалов проводов приведены в табл. 6.3.

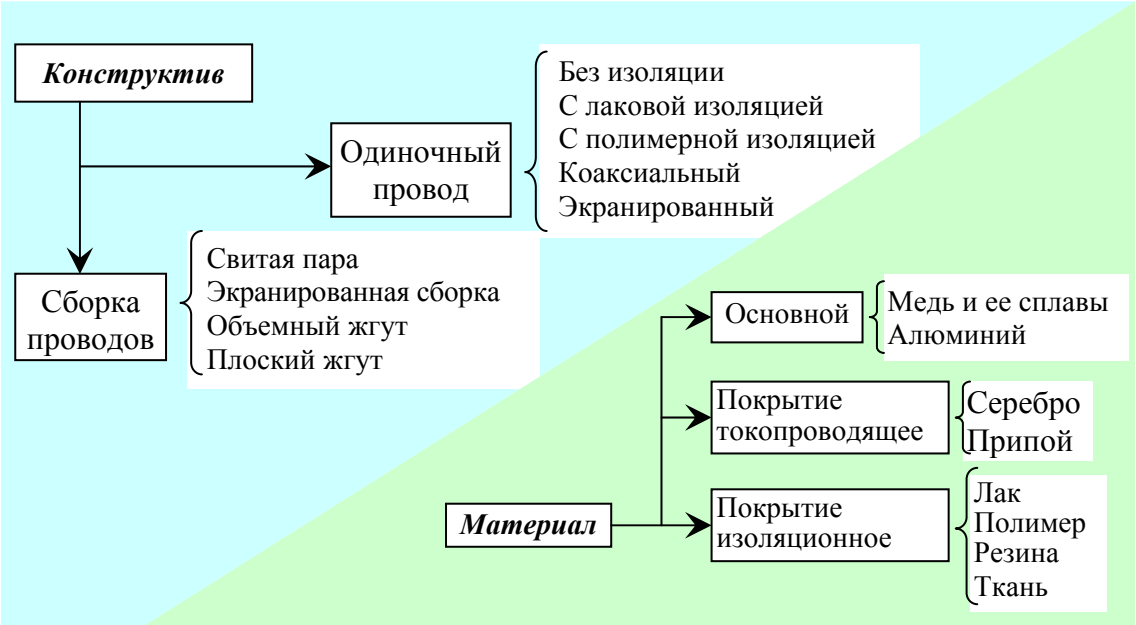


Рис. 6.11. Классификация проводников для объемного монтажа

Таблица 6.3

Электрофизические характеристики основных материалов проводов

Материал	Удельное сопротивление, Ом·мм^2/м	Температурный коэффициент сопротивления, Ом$^{-1}$
Медь	0,0175	0,004
Латунь	0,03–0,06	0,002–0,007
Бронза	0,08	0,004
Алюминий	0,028	0,004

Сечение или диаметр провода выбирают исходя из величины протекающего тока, максимального падения напряжения и допустимого перегрева. Последние зависят от сопротивления проводника.

Расчет указанных параметров можно проводить по следующим формулам:

допустимый ток

$$I = 0{,}765jd^2;$$

сопротивление

$$R = 1{,}27\rho l/d^2;$$

падение напряжения

$$U = I\rho\frac{l}{S}\left(1+\alpha\Delta t\right),$$

где j – плотность тока, А/мм^2; d – диаметр провода, мм; ρ – удельное сопротивление материала провода Ом·мм^2/м; l – длина провода, м; S – сечение провода, мм^2; α – температурный коэффициент сопротивления материала провода Ом$^{-1}$; Δt – перегрев провода, °С.

Провод выбирают исходя из:

- условий эксплуатации;
- нагрузки по току;
- допустимого падения напряжения;
- утечки тока;
- электрической прочности.

Одножильные провода рекомендуется использовать в стационарной аппаратуре, которая не подвержена воздействиям ударов и вибраций.

Многожильные провода применяют в носимой, возимой и бортовой аппаратуре. Увеличение числа жил провода повышает его стойкость к многократным перегибам.

Проводники без изоляции используются, как правило, для выполнения земляных цепей и экранов.

Нанесение изоляционного покрытия на токопроводящую жилу обеспечивает защиту от электрического замыкания проводов. Материал и конструкция изоляции при минимальной толщине должны обеспечивать необходимые электрические параметры:

- высокую электрическую прочность;

- большое сопротивление изоляции;
- стабильность и малый разброс диэлектрической постоянной.

Существует большое разнообразие различных типов изоляционных покрытий – лак, полимер, шелк, стекло и др. Наибольший объем электромонтажных работ выполняется проводниками с полимерной изоляцией (рис. 6.12).

Для уменьшения электромагнитной связи между цепями и повышения их защиты от взаимных и внешних помех применяется *свитая пара*. Ее получают переплетением между собой двух изолированных проводов (рис. 6.12). Повышение помехоустойчивости достигается тем, что наводимые внешним магнитным полем токи помех имеют в разных проводниках свитой пары противоположное направление и взаимно компенсируются. Шаг свивания зависит от диаметра проводов: при диаметре жил 0,3–0,8 мм шаг свивки – 40–90 мм, для диаметров жил 0,9–1,2 мм – 100–300 мм.

Чем меньше шаг свивки, тем больше коэффициент ослабления помех (табл. 6.4).

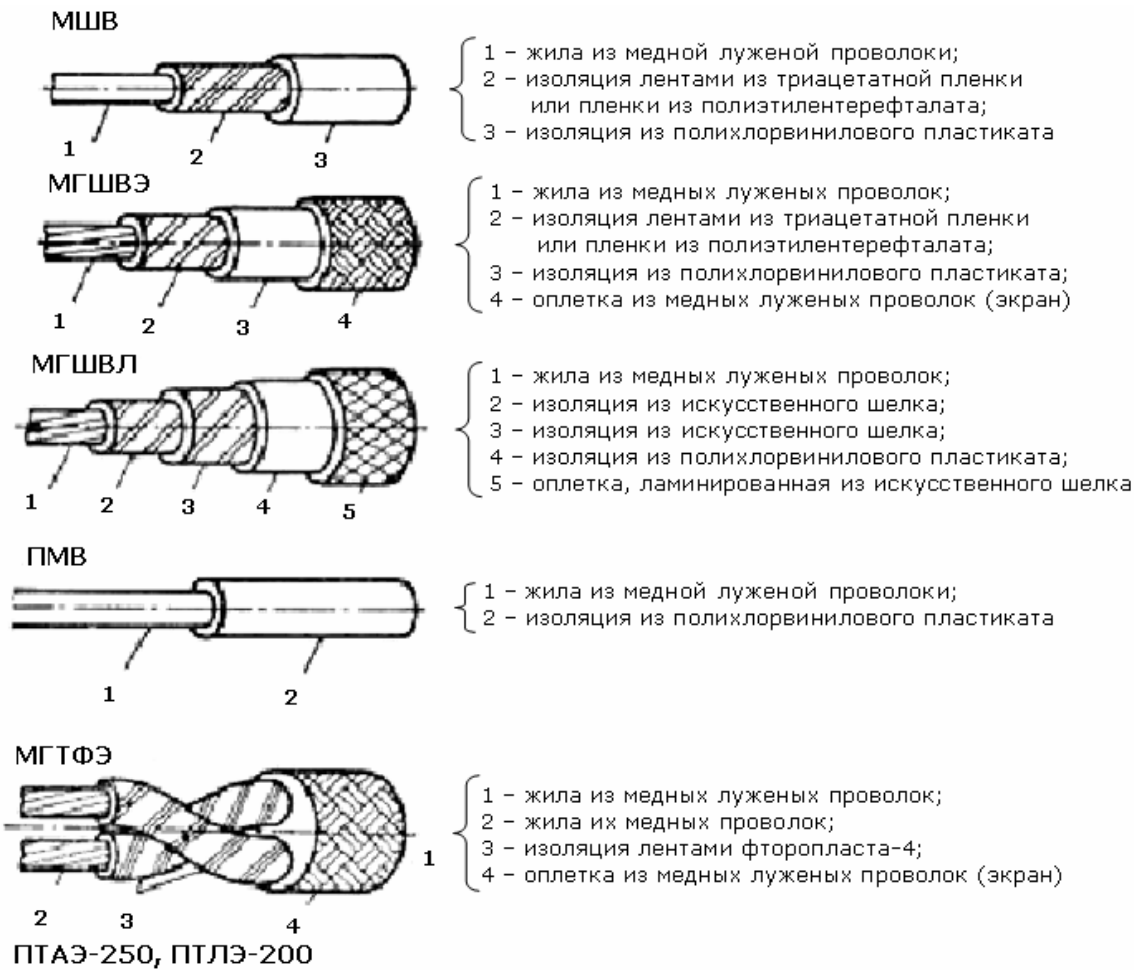


Рис. 6.12. Примеры проводов различного конструктивного исполнения

Таблица 6.4

Зависимость коэффициента ослабления помех от шага свивки

Шаг свивки, мм	100	75	50	25
Коэффициент ослабления, дБ	23	37	41	43

Хорошая защита от влияния электромагнитных помех свитой парой обеспечивается до частоты 100 кГц и удовлетворительная – до 10 МГц, при высоком постоянстве волнового сопротивления, вычисляемого по формуле

$$Z = \frac{276}{\sqrt{(\varepsilon_в + \varepsilon_и)/2}} \lg\left(2d_и / d\right),$$

где $\varepsilon_в$, $\varepsilon_и$ – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха и изоляции проводов соответственно; $d_и$, d – диаметр провода с изоляцией и без изоляции.

Обычно волновое сопротивление свитой пары составляет около 110–130 Ом и зависит от типа провода и шага свивания.

При электрическом монтаже свитой парой увеличивается масса, суммарная длина проводов и, соответственно, их стоимость.

Для передачи гармонических и импульсных сигналов в широком частотном диапазоне и в высокочастотной аппаратуре применяют специальные кабели. По конструктивному исполнению различают кабели:

- коаксиальные – РК;
- симметричные – РИ;
- спиральные – РС.

Наиболее широко используют коаксиальный кабель, который конструктивно является двухпроводной ЛС, состоящей из внешнего трубчатого проводника (оплетки) и внутреннего, размещенного соосно и разделенного диэлектрической средой от внешнего проводника. Прямой ток протекает по внутреннему проводнику.

Коаксиальные кабели выпускаются с волновым сопротивлением от 50 до 3200 Ом и номинальным диаметром от 0,6 до 120 мм. Марка кабеля указывает на его тип, волновое сопротивление, диаметр, материал изоляции и порядковый номер разработки.

Кабели с сопротивлением 50 Ом применяются в измерительной технике, 75 Ом – в телевидении, более высокоомные – в технике связи.

Близость прямого проводника к оплетке коаксиального кабеля, являющегося экраном, приводит к резкому возрастанию емкости на экран, что обязательно должно учитываться на этапе проектирования схем. Кроме того, коаксиальные кабели имеют значительные габариты и более сложны в монтаже. При их применении обязательно необходимо учитывать минимальный радиус сгиба.

6.7. Электромонтажные соединения

Электромонтажные соединения (элементы контактирования) должны:

- иметь механическую прочность не ниже ЭРЭ;
- иметь минимальное и стабильное электрическое сопротивление;
- не изменяться со временем;
- контролироваться простыми и надежными средствами.

Классификация электромонтажных соединений приведена на рис. 6.13.

Сварка как метод контактирования в настоящее время применяется ограниченно, хотя и обеспечивает высокую надежность соединений: наибольшее применение находит при сращивании оптических волокон; широко применяется при изготовлении термопар; рекомендуется применять при изготовлении малогабаритной аппаратуры.

Метод приварки проводников к запрессованным в плату штырям представлен на рис. 6.14. Штырь стальной покрыт медью и индием. При запрессовке индий диффундирует в металлическое покрытие отверстия, обеспечивая надежное электрическое и механическое соединение. Монтаж выполняется двухсторонней контактной точечной сваркой. Максимальный шаг размещения штырей – 1,5 мм.

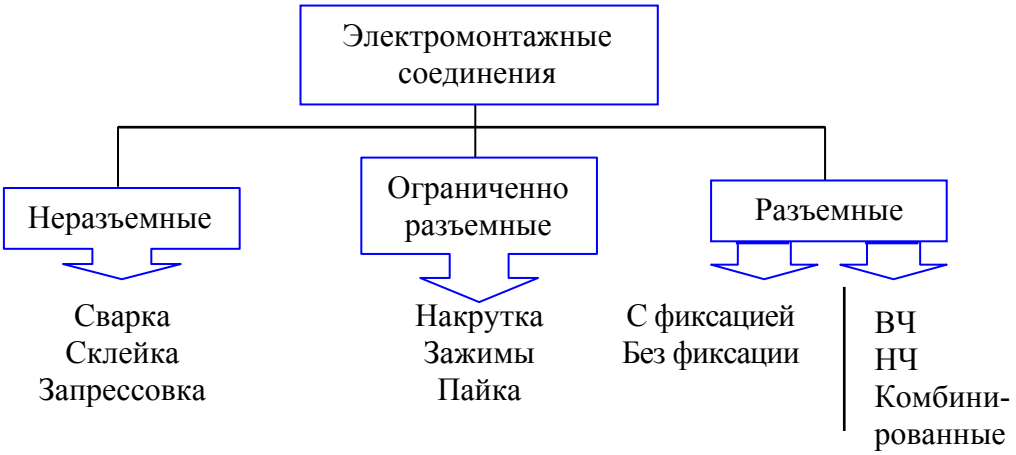


Рис. 6.13. Классификация способов контактирования

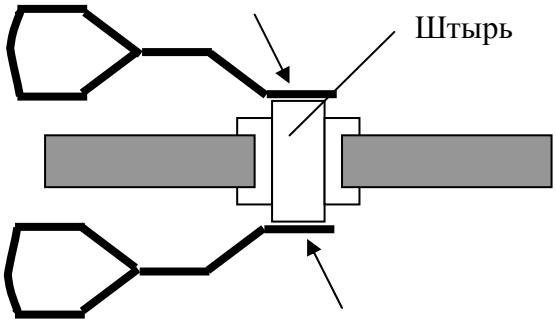


Рис. 6.14. Конструкции соединений приваркой

Клеевые соединения. Токопроводящие клеи используются редко: в технике СВЧ, а также для обеспечения электрического контакта при монтаже транзисторов и других ЭРЭ на устройства охлаждения. Оптически прозрачные клеи находят применение в оптических линиях передачи.

Запрессовка проводников выполняется изолированным проводом на поверхности платы, покрытой незатвердевшей клейкой термореактивной пластмассой. Станок с ЧПУ производит раскладку и фиксацию проводников, затем плата подвергается воздействию тепла и давления.

Соединения между проводниками выполняется сверлением отверстий с последующей металлизацией.

Пайка. При пайке электромонтажных соединений важен выбор материала припоя. Основными критериями выбора припоя являются его механические характеристики и температура плавления. Температура припоя в момент пайки должна быть примерно на 40 °С выше температуры его перехода в жидкое состояние. Поэтому температура пайки зависит от того, применяется автоматизированная пайка или нет. В случае ручной пайки с использованием паяльника температура жала должна быть еще на 20–30 °С выше ввиду охлаждения жала в момент пайки.

Монтаж накруткой – механическое постоянное соединение металлического штыревого вывода с острыми гранями с накрученными оголенными проводниками (рис. 6.15).

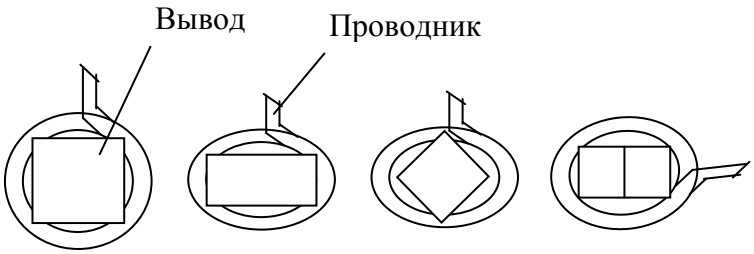


Рис. 6.15. Конструкции соединений накруткой

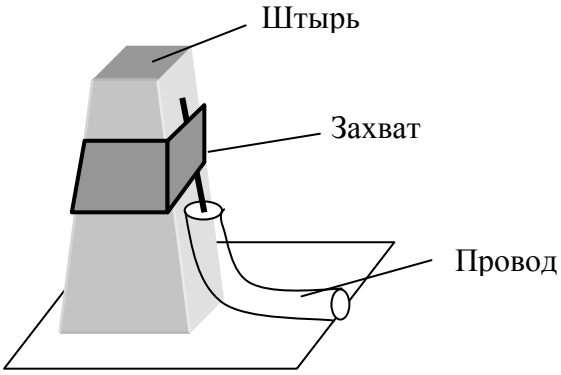


Рис. 6.16. Конструкции соединений пружинными контактами

Соединение двух металлов с большим постоянным натягом обеспечивает хороший электрический контакт и его стабильность во времени. Реко-

мендуемое количество витков – 6. Применяется в бортовой аппаратуре, вычислительной технике (большие ЭВМ), технике связи.

Материал вывода должен быть достаточно прочным и иметь низкое омическое сопротивление. Этими свойствами обладают фосфористая и бериллиевая бронзы. Проводник выполняется из одножильного мягкого и пластичного провода, хорошо сохраняющего форму накрутки.

Достоинства монтажа накруткой:

- более высокая (на 1–2 порядка) надежность по сравнению с паяными соединениями;
- стабильность при жестких механических и климатических воздействиях;
- отсутствие локальных перегревов;
- простота механизации технологического процесса.

К *недостаткам* этого вида монтажа относят большие габариты соединения.

Основные причины отказа – ухудшение переходного сопротивления из-за коррозии и усталостные явления в накрученном проводнике.

Монтаж пружинными захватами – один из методов механического контактирования (рис. 6.16). Монтаж выполняется станками с ЧПУ, возможно осуществление монтажа с шагом 1,9–2,5 мм.

Таблица 6.5

Сравнительная характеристика основных способов контактирования

Свойство	Способ соединения		
	Сварка	Пайка	Накрутка
Механическая прочность	1	4	2
Размеры	1	2	3
Масса	1	2	3
Ремонтопригодность	4	1	2
Стойкость к вибрациям	1	2	2

Выбрать способ контактирования можно, относительно оценив основные свойства других способов, приведенные в табл. 6.5: наилучшему соединению присвоена единица, наихудшему – четыре.

Контрольные вопросы

1. Какие соединения применяют на конструктивных уровнях?
2. Какие конструктивные требования предъявляются к объемному монтажу?
3. В каких случаях используется объемный монтаж?
4. Классификация проводников для объемного монтажа.
5. Критерии выбора провода.
6. Классификация электромонтажных соединений.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Лекция 20

План лекции

7.1. Основные принципы проектирования печатного монтажа.
7.2. Классификация печатных плат.
7.3. Факторы, влияющие на качество проектирования печатных плат.
7.4. Порядок проектирования печатных плат.
Литература: [12, 16, 17, 30, 32, 33].

7.1. Основные принципы проектирования печатного монтажа

Основной конструктивной базой современных электронных средств является печатная плата (ПП) с установленными на ней электронными компонентами. Это обусловлено тем, что ПП, являясь несущей конструкцией, позволяет объединить при помощи электрического печатного монтажа электрорадиоэлементы (ЭРЭ) в функциональные узлы различного назначения и сложности (типовые элементы замены, функциональные ячейки, объемные модули и т. д.).

Применение печатного монтажа создает предпосылки для механизации и автоматизации процессов изготовления и сборки ЭС, повышает их надежность и обеспечивает повторяемость параметров монтажа от образца к образцу.

Преимущества печатного монтажа:

- объединение ЭРЭ и электрического монтажа в единую конструкцию;
- организация и возможность управления размещением элементов;
- повышение плоскостности компоновки изделия;
- уменьшение габаритов и массы;
- снижение стоимости готового изделия (за счет автоматизации при проектировании и изготовлении печатных плат и печатных узлов, применения групповых методов пайки и использования более дешевых материалов);
- повышение надежности ЭС (за счет сокращения количества соединений и ошибок при монтаже, повышения механической прочности узлов);
- близкое совпадение расчетов и реально полученных характеристик;
- возможность уменьшения паразитных связей (за счет экранирования и применения низкоомных проводников);
- возможность применения элементов с планарными, штыревыми выводами и безвыводных ЭРЭ;
- возможность простого обеспечения каналов при воздушном охлаждении;

- простота проверки;
- простота анализа при выявлении причин отказа.

К недостаткам печатного монтажа следует отнести:

- уменьшенную объемную эффективность;
- повышенную чувствительность к ударам и вибрациям;
- ограниченную ремонтопригодность;
- ухудшенный теплоотвод (за счет естественной конвекции при горизонтальном расположении плат);
- увеличение вероятности пробоя при наличии неизолированных проводников;
- увеличение нежелательных емкостных и индуктивных связей;
- наличие определенных ограничений на конструкцию плат;
- трудность внесения изменений в готовое изделие.

Печатная плата является конструктивным элементом первого структурного уровня, на котором располагаются проводники.

Элемент второго уровня – печатный узел (ПУ) представляет собой ПП с подсоединенными к ней электрическими, механическими элементами и другими печатными платами и со всеми выполненными технологическими процессами (пайка, покрытие и т. д.) (рис. 7.1, рис. 7.2).

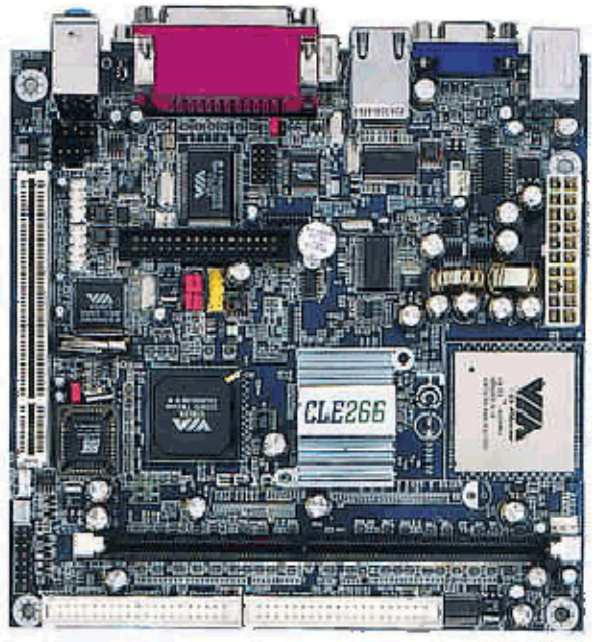


Рис. 7.1. Печатный узел.
Материнская плата

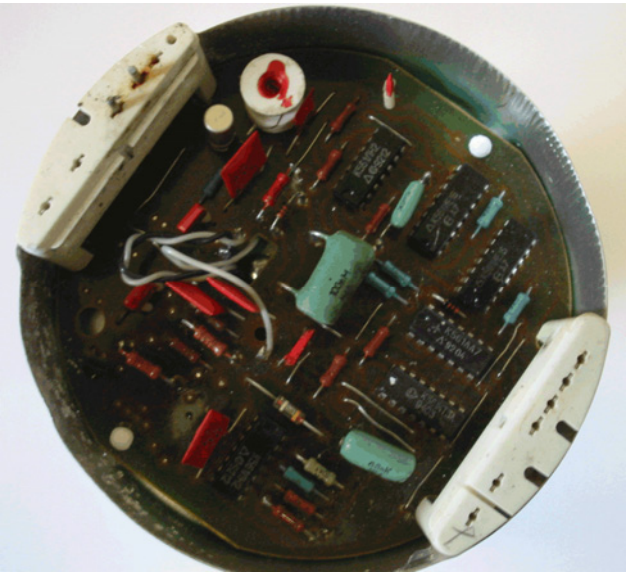


Рис. 7.2. Печатный узел
для атмосферных зондов

Таким образом, если печатная плата есть деталь, независимо от способа ее изготовления, то печатный узел – сборочная единица, обязательно включающая в себя:

- печатную плату;

- электрорадиоэлементы;
- элементы дополнительного механического крепления ЭРЭ;
- элементы контроля и коммутации;
- элементы несущей конструкции.

Конфигурации ПП и состав ПУ определяется назначением изделия и его сложностью.

7.2. Классификация печатных плат

Классификацию печатных плат проводят по нескольким признакам. Прежде всего по частотному диапазону: *низкочастотные*, *высокочастотные* и *СВЧ-диапазона*. Последние обычно называются *полосковыми*, или *микрополосковыми*, платами и характеризуются повышенными требованиями к проводящему рисунку, обеспечивающими создание микрополосковых линий (МПЛ) передач высокочастотного сигнала (частота – от 0,5 ГГц), и специальными требованиями к материалу основания.

Печатные платы классифицируют также по жесткости применяемого основания. На полимерных основаниях толщиной до 0,4 мм выполняют *гибкие печатные платы* (ГПП) (рис. 7.3) и *гибкие печатные кабели*.

Развитие и сближение технологий печатного и пленочного монтажа позволили выделить в отдельный класс платы с монтажом на поверхность, установка ЭРЭ на которые производится только по планарной технологии. Применение этой разновидности печатных плат позволяет максимально использовать механизацию и автоматизацию сборочно-монтажных работ. Тем не менее широкое внедрение плат с монтажом на поверхность сдерживается более высокими требованиями к качеству проводящего рисунка, неэкономичностью при ручном монтаже элементов и ограниченной элементной базой. Этот тип плат применяется, как правило, для изделий с низким энергопотреблением, для портативной и малогабаритной аппаратуры.

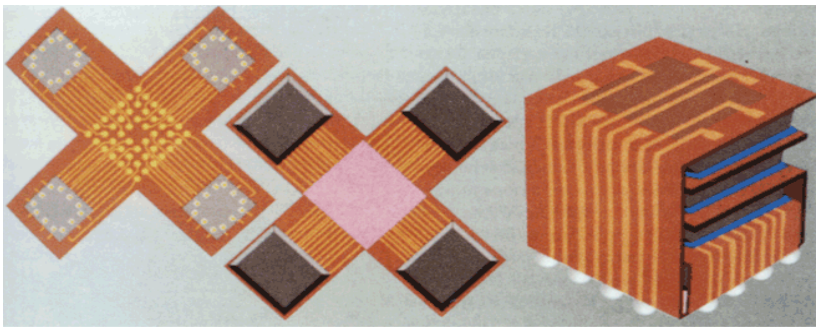


Рис. 7.3. Печатные платы на полимерном основании

Технология поверхностного монтажа компонентов (ТПМК) широко применяется как перспективное средство повышения производительности труда. Доля компонентов для ТПМК к общему числу компонентов: 1983 г. – 1 %; 1986 г. – 12 %; 1990 г. – 60–70 %.

Достоинства ТПМК:

- миниатюризация;
- возможность высокой автоматизации проектирования и изготовления ПП и ПУ;
- возрастание функциональных возможностей ЭС;
- повышение быстродействия ЭС;
- уменьшение габаритов коммутационных плат;
- снижение стоимости компонентов;
- прецизионность сборочно-монтажных операций;
- относительная простота технологического оборудования;
- возможность монтажа на платы, изготовленные по печатной или пленочной технологиям;
- широкий спектр материалов оснований плат: керамика, стеклотекстолит, гетинакс, лавсановые пленки;
- большая устойчивость к внешним климатическим воздействиям.

Недостатки ТПМК:

- низкая ремонтопригодность вследствие высокой плотности монтажа;
- прецизионность сборочно-монтажных операций;
- повышенные требования к топологии проводящего рисунка;
- плохая контролепригодность;
- затрудненность настройки и регулировки;
- применение специальных компонентов.

Наиболее часто печатные платы классифицируются по количеству диэлектрических и проводящих слоев, а также способов коммутации последних. Эти конструктивные разновидности ПП представлены на рис. 7.4.

В зависимости от числа диэлектрических слоев различают *однослойные печатные платы* – (односторонние – ОПП), *двусторонние* (ДПП) и *многослойные* (МПП). Однослойные ПП всегда имеют один изоляционный слой, на котором находятся проводники. Применение МПП, состоящих из нескольких изоляционных слоев, позволяет увеличить плотность монтажа, сократить длину проводников и уменьшить паразитные связи и наводки.

Наиболее широко используются в ЭС односторонние печатные платы (рис. 7.5), двухсторонние с химико-гальванической металлизацией отверстий по комбинированной позитивной или полуаддитивной технологиям (рис. 7.6), многослойные печатные платы, выполненные попарным прессованием (рис. 7.7) и металлизацией сквозных отверстий (рис. 7.8).

Односторонние печатные платы (рис. 7.5) характеризуются:

- возможностью обеспечения повышенных требований к точности воспроизведения проводящего рисунка;
- установкой корпусных ЭРЭ с радиальными выводами на поверхность платы с противоположной рисунку стороны (для некоторых ЭРЭ предусматривается возможность установки со стороны печатного рисунка, например варикапы типа КВ122А-9, микросхемы в корпусах типа 4114.24-1,

4151.12-1, 4153,12-1 по ГОСТ 17467 и т. п.) без дополнительного изоляционного покрытия;

- простотой технологического процесса изготовления ПП;
- низкой стоимостью конструкции.

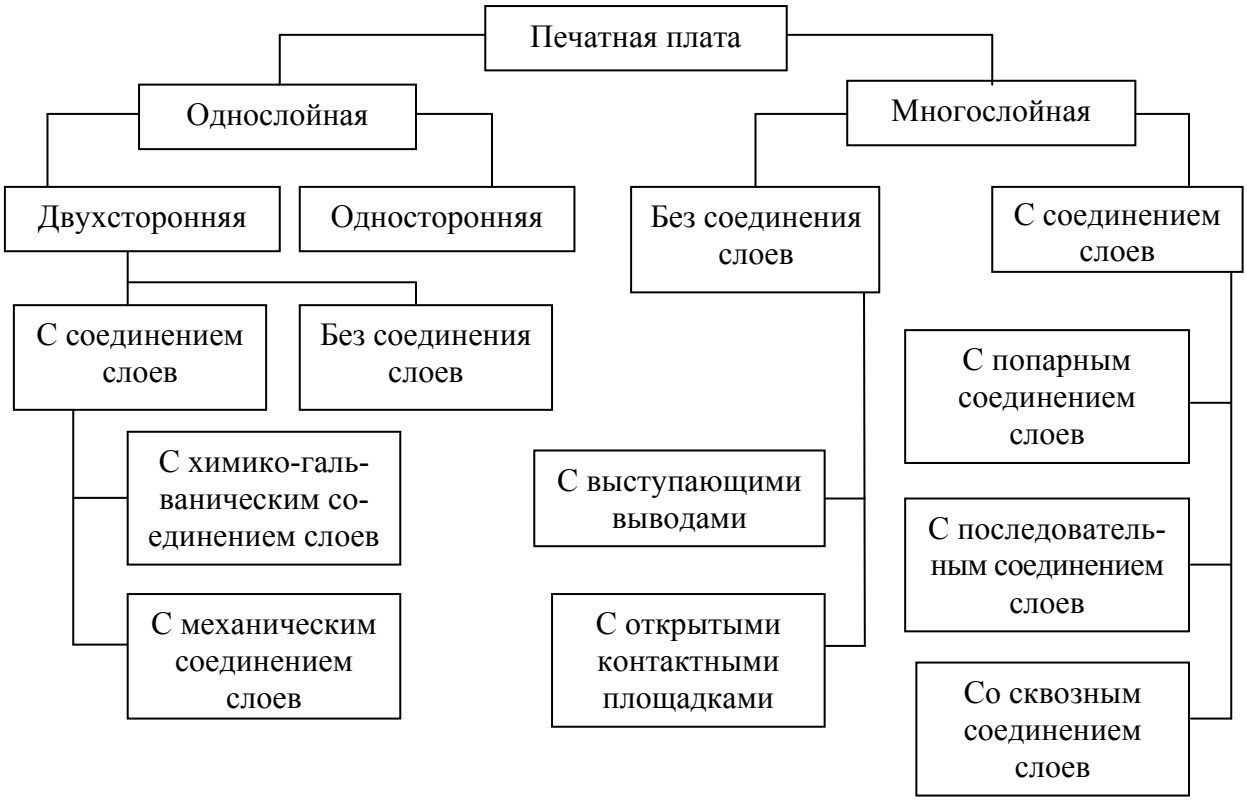


Рис. 7.4. Классификация печатных плат

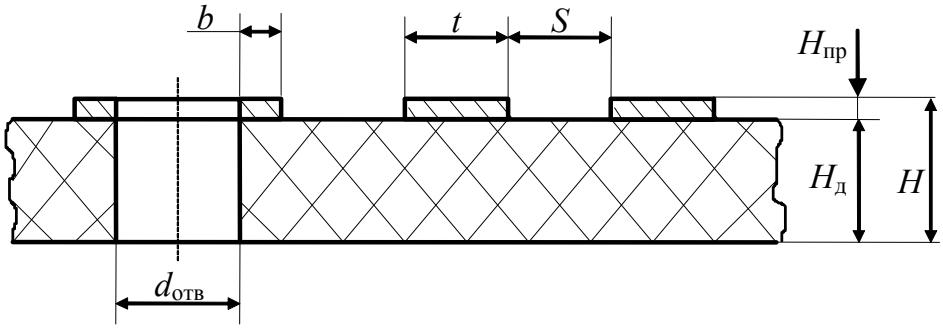


Рис. 7.5. Конструкция односторонней печатной платы

Двухсторонние печатные платы (ДПП) с химико-гальваническим соединением слоев (рис. 7.6) характеризуются:

- высокими коммутационными свойствами в связи с возможностью использования переходных металлизированных отверстий;
- повышенной прочностью сцепления выводов корпусных ЭРЭ с проводящим рисунком платы;
- более высокой плотностью.

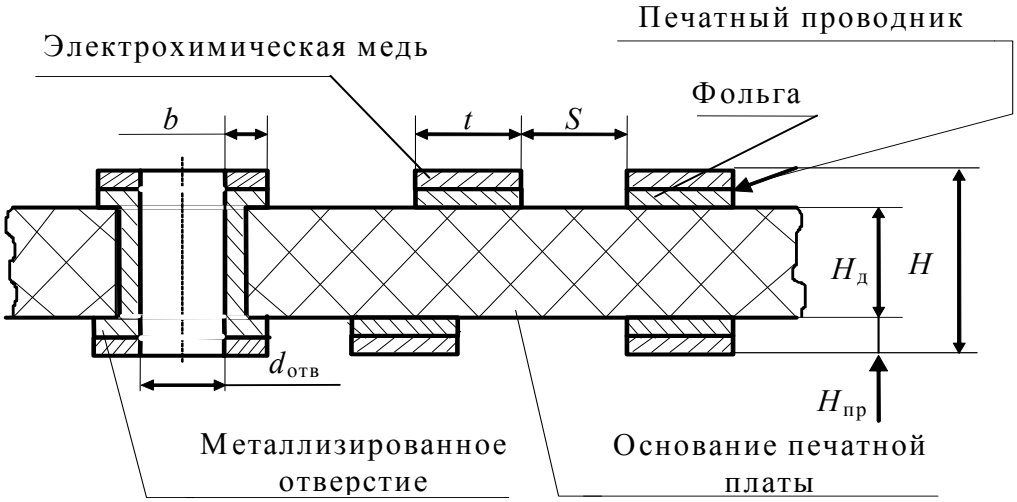


Рис. 7.6. Конструкция двухсторонней печатной платы с химико-гальваническим соединением слоев

Кроме того, двухсторонние печатные платы значительно меньше коробятся, так как проводящие металлические слои, расположенные с противоположных сторон основания, компенсируют деформацию диэлектрика. Наиболее сильно подвержен короблению гетинакс.

Многослойные печатные платы (МПП) обладают самыми высокими коммутационными свойствами, возможностью обеспечения высокой помехозащищенности цепей, однако стоимость конструкции более высокая.

Многослойные печатные платы, изготовленные методом попарного прессования (рис. 7.7), характеризуются:

- наличием межслойных соединений;
- быстрым освоением в производстве;
- возможностью монтажа элементов как с планарными, так и со штыревыми выводами ЭРЭ (применение планарных выводов предпочтительнее), при этом компоненты с планарными выводами устанавливаются с двух сторон, со штыревыми – с одной;
- малым количеством слоев (до 8). Оптимальны четырехслойные конструкции;
- возможностью осуществления промежуточного контроля качества проводящих слоев и межслойных соединений в процессе производства.

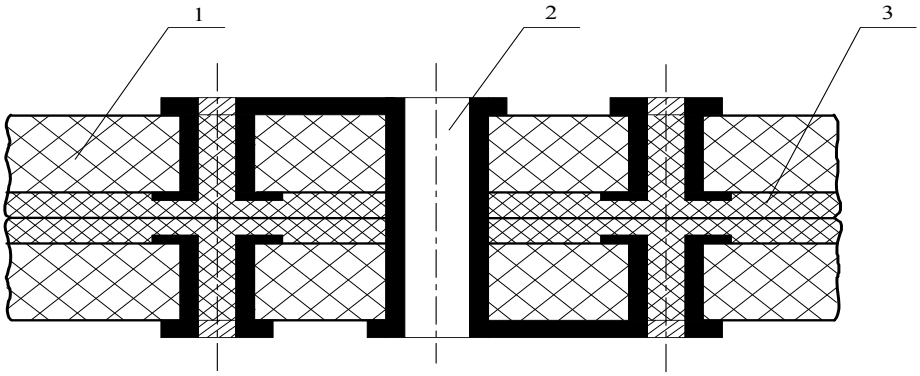


Рис. 7.7. Конструкция МПП, изготовленная попарным прессованием:
1 – фольгированный диэлектрик; *2* – сквозное отверстие; *3* – прокладочная стеклоткань

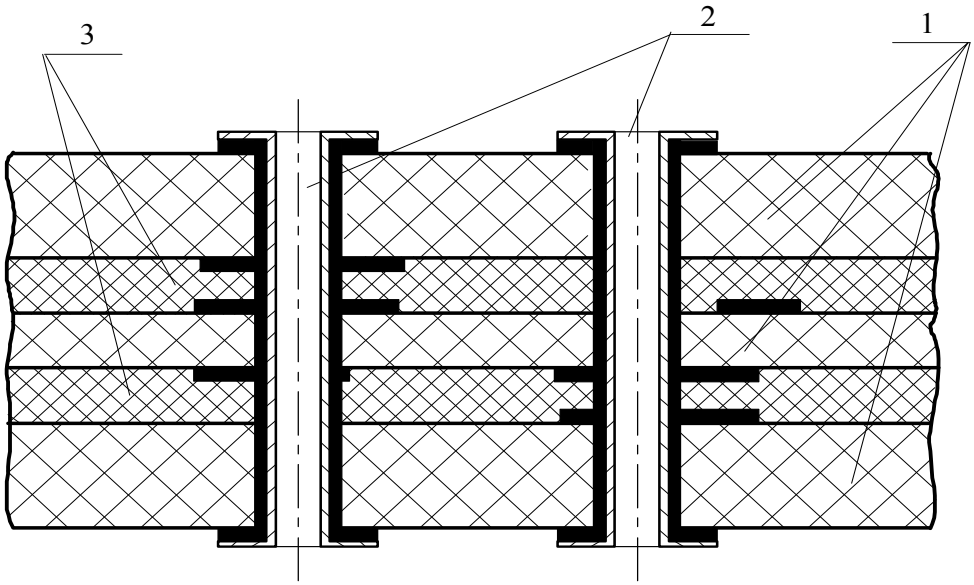


Рис. 7.8. Конструкция МПП, изготовленная металлизацией сквозных отверстий:
1 – фольгированный диэлектрик; *2* – сквозное отверстие; *3* – прокладочная стеклоткань

Многослойные печатные платы, изготовленные методом металлизации сквозных отверстий (рис. 7.8), характеризуются:

- наличием межслойных соединений;
- практически неограниченным числом слоев (больше 50, по типовому технологическому процессу – 20);
- возможностью монтажа элементов как с планарными, так и со штыревыми выводами ЭРЭ;
- достаточно низкой трудоемкостью и длительностью процесса изготовления;
- возможностью осуществления промежуточного контроля качества проводящих слоев;
- высоким выходом годных плат и высокой надежностью;
- высокими коммутационными свойствами и помехозащищенностью;
- обязательным наличием контактных площадок в каждом проводящем слое, имеющем электрическое соединение с монтажным или переходным отверстием;
- низким классом точности на наружных слоях (1-й и 2-й классы точности);
- высокой стоимостью.

Сравнительная характеристика различных конструкций ПП представлена в табл. 7.1, где использованы следующие сокращения для многослойных печатных плат: ППр – с попарным соединением слоев; ОКП – с открытыми контактными площадками; ВВ – с выступающими выводами; МСО – со сквозной металлизацией слоев (металлизация сквозных отверстий); ПН –с последовательной металлизацией слоев (послойное наращивание). Характеристика в столбцах 3–7 указана в относительных единицах.

Классифицировать ПП можно также по методам изготовления, которые определяют ряд характеристик готового изделия: надежность, устойчивость к внешним воздействиям, точность, стоимость и др. Выбор метода является прерогативой проектировщика, который указывает его в конструкторской документации (КД) на печатную плату.

Методы изготовления плат в соответствии с ГОСТ 20406 делятся на *субтрактивные* (*химические*), *аддитивные* (*электрохимические*) и *механические*.

Таблица 7.1

Характеристика различных конструкций ПП

Тип платы	Плотность монтажа	Количество слоев	Цена	Надежность	Время изго-товления	Стойкость к внешним воздействиям	Тип выводов	Автоматизиро-ванная сборка
ОПП	Низкая	1	1	1	1	3	Планарный Штыревой	+
ДПП	Выше ОПП	2	2	4	2	3	Планарный Штыревой	+
ППр	Выше ДПП	4	3	2	4	3	Планарный Штыревой	+
ОКП	Выше ППр	8	3	5	3	3	Планарный Штыревой	–
ВВ	Выше ОКП	15	5	5	4	4	Планарный Штыревой	–
МСО	Выше ВВ	20	4	4	4	4	Планарный Штыревой	+
ПН	Выше МСО	5 (20)	5	5	5	4	Планарный	+

Для субтрактивных методов характерно использование фольгирован ных материалов с химическим удалением проводящего слоя. Эти методы отличает простота технологических процессов, однако при их использовании получить соединение слоев можно только с помощью металлической арматуры по ГОСТ 22318 (заклепки, штыри) или с помощью выводов ЭРЭ.

В зависимости от способа формирования защитного рисунка на проводящем слое заготовки существует три разновидности субтрактивной технологии – фотохимический, офсетохимический и сеточно-химический способы.

Фотохимический способ предусматривает нанесение на фольгированный материал фоторезиста и засветку его через фотошаблон с травлением фольги после формирования рисунка. Этот метод обладает наивысшей точностью, не требует сложного оборудования и позволяет легко перестраивать производство на новые виды печатных плат. Используется в серийном и опытном производстве при большой номенклатуре сложных плат.

Офсетохимический способ предусматривает печатание позитивного изображения офсетным способом кислотощелочестойкой краской, обладает

большой производительностью и используется в крупносерийном производстве при малой номенклатуре печатных плат.

Сеточно-химический способ предусматривает печатание позитивного изображения кислотощелочестойкой краской через сеточный трафарет (трафаретная печать). Обладает максимальной производительностью. Применяется в крупносерийном и массовом производстве при малой номенклатуре печатных плат.

Из полуаддитивных технологий наиболее широко применяется комбинированный позитивный метод, позволяющий производить металлизацию отверстий. В данном случае на поверхности просверленных или пробитых отверстий химически осаждается медь, а затем производится ее гальваническое наращивание до необходимой толщины. В качестве материала основания применяются фольгированный гетинакс или текстолит с толщиной фольги 35 или 50 мкм. Поскольку электрохимическое осаждение меди происходит не только в отверстиях, но и на проводящих участках, толщина проводников получается очень большой. Этот недостаток устраняется при использовании полуаддитивного метода, при котором в качестве материала основания применяется слофадит с толщиной фольги 5 мкм.

К механическим методам изготовления ПП относят *фрезерование*, при котором удаление фольги проводится на специальных координатно-фрезерных станках.

7.3. Факторы, влияющие на качество проектирования печатных плат

Габариты, конструкция и качество печатного узла и аппаратуры во многом зависят от выбранного принципа конструирования. Таких принципов четыре: моносхемный, функционально-блочный, функционально-модульный и функционально-узловой.

Моносхемный (*моноконструкций*) *принцип*: вся электрическая схема изделия располагается на одной печатной плате. Метод отличает повышенная плоскостность компоновки, малое количество крепежных деталей, отсутствие межплатных соединений. Ввиду ограниченной ремонтопригодности применяется для бытовой, дешевой и невосстанавливаемой аппаратуры.

Функционально-блочный (*схемно-узловой*) *принцип*: вся электрическая схема разбивается на отдельные части (с четко выраженными входными и выходными характеристиками – УВЧ, УПЧ и т. д.), которые выполняются на отдельных печатных платах. Для метода характерны улучшенная компоновка и ремонтопригодность. Предполагает наличие коммутационной платы или жгута.

Функционально-модульный (*каскадно-узловой*) *принцип*: на отдельной печатной плате выполняется каждый каскад. При большой объемной плотности компоновки, простоте обслуживания и повышенной стойкости к механическим воздействиям наблюдается увеличение габаритов и массы за счет большого числа армирующих и крепежных деталей. Большое число межплатных соединений увеличивает наводки и снижает надежность изделия.

Этот метод применяется редко в связи с ростом применения микросхем (МС) высокой степени интеграции.

Функционально-узловой принцип: электрическая схема разбивается на узлы, каждый из которых выполняет ограниченное число функций. Отличается простотой, высокой надежностью, большой объемной плотностью и стойкостью к внешним воздействиям. Однако несколько увеличены вес и число межплатных соединений по сравнению с реализацией моносхемного или схемно-узлового принципов. Рекомендуется для изготовления аппаратуры с малым временем восстановления, часто модернизируемой аппаратуры, а также аппаратуры, назначение которой зависит от набора функциональных частей.

В чистом виде рассмотренные принципы конструирования аппаратуры на печатных платах применяются редко, однако при выборе любого принципа (за исключением моносхемного) необходимо стремиться к унификации по типоразмерам проектируемых ПП.

На качество проектирования печатных плат влияют также следующие факторы:

- степень сложности ПУ;
- способ изготовления ПП;
- назначение изделия;
- условия эксплуатации;
- диапазон частот и рабочих напряжений.

По степени сложности аппаратура делится на пять групп:

1. *Простая* содержит до 10 активных ЭРЭ (2–3 МС).

2. *Нормальной сложности* – 10–20 активных ЭРЭ (до 5 МС).

3. *Повышенной сложности* – до 50 активных элементов (до 20 МС), возможно использование больших интегральных схем (БИС).

4. *Высокой сложности* – до 100 активных ЭРЭ (до 50 МС), применение (БИС).

5. *Весьма высокой сложности* – свыше 100 активных ЭРЭ (свыше 50 МС), применение БИС и сверхбольших интегральных схем (СБИС).

Характер производства (серийность выпуска), с учетом степени сложности, влияет на выбор способа получения печатного рисунка (фотоспособ, сеточный или офсетный способы). Выбор способа пайки ЭРЭ формирует требования к элементам печатного рисунка и взаимной ориентации этих элементов.

Для крупносерийного и массового производства рекомендуются офсетный и сеточный методы формирования рисунка, маркирование трафаретное и травлением.

Для серийного производства рекомендуются фотоспособ и сеточный способ, маркирование трафаретное и травлением.

Для единичного и опытного производства – фотоспособ и фрезерование, маркирование травлением и ручная маркировка. Применение фрезеро-

вания для других типов производств сдерживается высокой стоимостью изготовления, однако технологической подготовки производства при механическом способе формирования печатного рисунка не требуется. В табл. 7.2 приведены сравнительные данные для ПП, изготовленных по различным технологиям.

Для изделий 1–2-й групп сложности применим любой способ формирования рисунка.

Для изделий 3-й группы сложности – любой способ формирования рисунка, кроме сеточного.

Для изделий 4–5-й групп сложности – формирование рисунка фотоспособом.

Таблица 7.2

Сравнительная характеристика стоимости и сроков изготовления ПП, выполненных по субтрактивной и механической технологиям

Характеристика	Цена изготовления (срок изготовления) ПП, отн. ед.	
	Технология изготовления	
	Метод фрезерования	Субтрактивный метод
Подготовка производства	–	10 за один слой
Односторонняя печатная плата	2,0 (0,3–0,45)	1,0 (1,0)
Двухсторонняя печатная плата	4,0 (0,45–0,7)	1,3 (1,0)

Применяемые в крупносерийном производстве групповые способы пайки (пайка волной припоя, окунанием, для монтажа на поверхность –в термопечах) накладывают дополнительные ограничения на способы установки ЭРЭ и конфигурацию печатного рисунка. Например, элементы должны быть зафиксированы дополнительно на месте установки, токопроводящие дорожки должны располагаться параллельно сторонам платы, контактные площадки не должны иметь избыточной площади и т. д.

На качество проектирования ПП влияют также назначение изделия и объект установки ЭС. Для бытовой ЭС рекомендуется формирование рисунка сеточным и офсетным способами, а для аппаратуры специального назначения – офсетным и фотоспособом. Для аппаратуры автоматики, телемеханики и вычислительной техники предпочтительны фотоспособы, отличающиеся наибольшей разрешающей способностью.

Для стационарной аппаратуры применимы все принципы конструирования. Для носимой (кроме бытовой) – все принципы, кроме моносхемного, если при его применении плата по механическим характеристикам не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Для подвижной ЭС применяются каскадно-узловой и функционально-узловой принципы. Для высокоподвижной основным является функционально-узловой принцип.

Если рассматривать ЭС с точки зрения обслуживаемости во время эксплуатации, то для аппаратуры разового действия применим любой принцип конструирования, для ремонтопригодной и с подстройкой в процессе эксплуатации – все принципы, кроме моносхемного. Для изделий с выборочным контролем во время эксплуатации рекомендуются функционально-узловой и каскадно-узловой принципы.

Условия эксплуатации ЭС определяют выбор группы жесткости, которая нормирует условия и параметры испытаний, проводимых с целью проверки работоспособности ПП. В соответствии с ГОСТ 23752 выделены четыре группы жесткости ПП (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Группы жесткости ПП

Воздействующие факторы		Группа жесткости			
		1	2	3	4
Температура окружающей среды, °С	повышенная	+55	+85	+85	+100
	пониженная	–25	–40	–60	–60
Относительная влажность, %		75 (при температуре до 35 °С)	98 (при температуре до 35 °С)	98 (при температуре до 40 °С)	
Смена температур, ºС		От –40 до +55			
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)		Нормальное	53,6 (400)		0,67 (5)

Поскольку каждое изделие ЭС проходит разные виды контроля и приемочных испытаний, то обязательное задание в КД группы жесткости однозначно определяет процедуры испытаний для конкретных ПП.

Частотный диапазон и рабочее напряжение кроме требований к конфигурации рисунка влияют и на выбор способа изготовления. При частотах до 6 МГц и напряжениях до 50 В приемлемы все способы изготовления, до 30 МГц и до 300 В не применяется сеточный способ формирования рисунка, свыше 30 МГц и свыше 300 В печатные платы изготавливаются только фотоспособом.

7.4. Порядок проектирования печатных плат

Топологическое проектирование включает следующие этапы:

1. *Компоновка* (упаковка частей схемы в типовые конструктивные единицы).

2. *Размещение* (размещение конструктивных узлов или ЭРЭ на монтажном пространстве несущей конструкции (блока, печатной платы, подложки, кристалла) по определенным критериям).

3. *Трассировка* (определение конкретных геометрических параметров печатного, пленочного или проводного монтажа, реализующего соединения между элементами схемы).

В общем случае можно выделить такую последовательность процедур проектирования, применяемых при разработке печатных плат:

1. Анализ частного технического задания на разработку платы.
2. Выбор класса точности и шага координатной сетки.
3. Выбор типа ПП, ее габаритов и материала основания.
4. Выбор и расчет элементов печатного рисунка.
5. Размещение электрорадиоэлементов.
6. Исследование путем математического моделирования различных физических процессов (тепловых, механических, электромагнитных).
7. Трассировка печатных элементов, уточнение типа ПП, класса точности и габаритов.
8. Выбор конструкционных покрытий.
9. Разработка маркировки.
10. Выпуск конструкторской документации.

Процедуры 5, 7 проводят после настройки программ-трассировщиков, входящих в САПР ПП (P-CAD, Pspase, ACCEL и т. п.), по результатам процедур 2–4.

Лекция 21

П л а н л е к ц и и

7.5. Анализ технического задания на плату.
7.6. Выбор класса точности и шага координатной сетки.
7.7. Выбор типа, габаритов и материала основания ПП.
Л и т е р а т у р а: [12, 17, 30, 32, 33].

7.5. Анализ технического задания на плату

Частное техническое задание на плату формируется на основе технического задания (ТЗ) изделия. В нем определяются: условия эксплуатации, серийность выпуска, условия размещения печатной платы в изделии и способ ее крепления, габаритно-установочные размеры, вид электрической коммутации платы с выносными ЭРЭ и другими узлами и т. п. *Комплект КД, включающий ЧТЗ, схему электрическую принципиальную, перечень элементов и карту электрических режимов, является основным документом для разработки печатного узла*.

Условия эксплуатации должны включать как климатические, так и механические факторы, а также вид защиты, обеспечиваемый несущей конструкцией, корпусом, кожухом и т. п. Учет климатических воздействий необходим для выбора группы жесткости ПП и дополнительной защиты ПУ лакокрасочными покрытиями.

Механические дестабилизирующие факторы (удары, вибрации, линейные ускорения) задаются с указанием направления их воздействия, что необходимо для выбора правильной ориентации элементов на плате (с учетом ориентации платы в блоке), способов дополнительного крепления ЭРЭ, материала основания и габаритов ПП.

С точки зрения уменьшения количества межплатных соединений, массы и количества крепежных элементов выгоднее применять одноплатные конструкции или снижать в изделии количество печатных плат соответственно с увеличением их габаритов. Однако чем больше размеры и масса печатного узла, тем ниже его резонансная частота и выше вероятность ее попадания в диапазон возбуждающих частот. Поэтому для подвижной ЭС даже на этапе анализа ЧТЗ необходимо оценивать устойчивость проектируемой ПП при заданных механических воздействиях.

Конструкторский анализ схем электрических и карты электрических режимов работы ЭРЭ позволяют выявить:

- тепловыделяющие и теплочувствительные ЭРЭ, электрорадиоэлементы, сопрягаемые с несущей конструкцией (индикаторы, переключатели и т. п.) для последующей компоновки ПУ;
- подборные ЭРЭ и ЭРЭ с малой надежностью для принятия необходимых мер по многократной перепайке в процессе настройки, регулировки или эксплуатации ПУ или прибора в целом;
- точки, необходимые для проведения внутрисхемного контроля с целью введения в топологию проводящего рисунка контрольных контактных площадок;
- электрические цепи различного функционального назначения.

Обычно выделяют потенциальные (питания и земли), сигнальные (маломощные и большой величиной сигнала), управляющие цепи и цепи, которые необходимо экранировать. Это особенно важно при проектировании МПП и устройств с малым уровнем входных токов.

Конструкторский анализ элементной базы состоит в определении массы, габаритных размеров, установочной площади, диаметра выводов электрорадиоэлементов. Масса и габаритные размеры применяемых компонентов влияют на выбор варианта и места установки ЭРЭ и способа его дополнительного крепления.

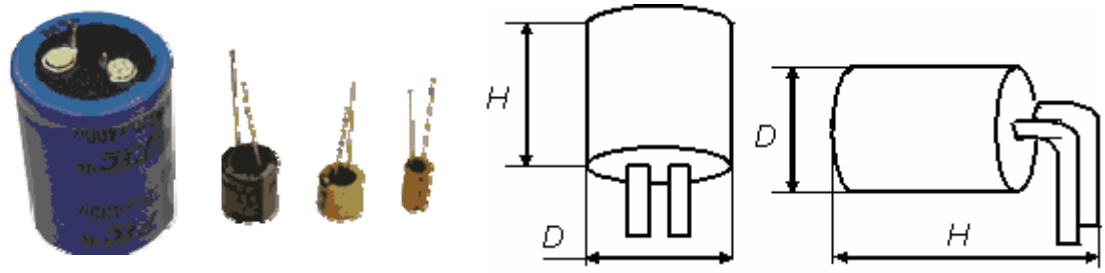
Диаметры выводов ЭРЭ необходимы для расчета диаметров монтажных отверстий.

Габаритные размеры, а точнее, установочные площади, позволяют предварительно оценить площадь печатной платы.

Установочная площадь электрорадиоэлемента (рис. 7.9) определяется по справочникам или вычисляется по формуле

$$S_i = 1{,}3LB, \tag{7.1}$$

где L и B – длина и ширина ЭРЭ по установочным размерам, в соответствии с вариантом установки по ОСТ 4.010.030 – «Установка навесных элементов на печатные платы».



а *б* *в*

Рис. 7.9. Внешний вид конденсатора (*а*) и влияние варианта его установки на установочную площадь: *б* – $S_i = 1{,}3\pi D^2/4$; *в* – $S_i = 1{,}3DH$

Поскольку в общем случае установочная площадь ЭРЭ может определяться длиной и высотой, шириной и высотой ЭРЭ или вариантом его расположения на плате и иметь при этом разные значения, то желательно определять минимальную и максимальную установочные площади.

При вычислении установочной площади ЭРЭ следует помнить, что установочные размеры, особенно для компонентов с разнонаправленными выводами, могут зависеть от шага координатной сетки при одном и том же варианте установки.

7.6. Выбор класса точности и шага координатной сетки

На основании имеющихся в ЧТЗ данных по типу производства, группе сложности и составу элементной базы конструктор может ориентировочно определить класс точности печатной платы и затем выбрать шаг координатной сетки, который является одним из параметров, необходимых для настройки редакторов печатных плат и программ-трассировщиков, и поэтому должен быть установлен до процедур компоновки ПП и трассировки проводников.

Выбор класса точности. Будучи одной из характеристик печатной платы, класс точности определяет номинальные, минимальные, максимальные и точностные значения элементов печатного рисунка и параметров печатных плат (диаметры отверстий, габаритные размеры и т. д.).

Таблица 7.4

Характеристика классов точности

Класс точности	Область применения	Основной материал	Тип производства
1	Печатные платы с дискретными элементами и низкой плотностью монтажа (1-я и 2-я группы сложности)	Фольгированный гетинакс	Любой
2	Печатные платы с дискретными элементами и ИМС со средней плотностью монтажа (2–4-я груп-пы сложности)	Фольгированный гетинакс	Все, кроме массового
3	Печатные платы с ИМС и с высокой плотностью монтажа (3-я и 4-я группы сложности)	Фольгированный стеклотекстолит	Единичное и мелкосерийное
4, 5	Печатные платы с БИС, СБИС, ИМС и высокой плотностью монтажа	Термостойкие травящиеся диэлектрики со сверхтонкой фольгой	Единичное и мелкосерийное

В соответствии с ГОСТ 23751 – «Платы печатные. Основные параметры конструкции» выделены пять классов точности, краткая характеристика которых приведена в табл. 7.4.

Классы точности 1 и 2 характеризуются простотой, надежностью, низкой стоимостью, 4-й и 5-й классы – использованием высококачественных материалов, спецоснастки и дорогого оборудования.

Класс точности определяет в первую очередь минимально допустимые геометрические размеры элементов ПП (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Влияние класса точности на параметры ПП

Минимально допустимые геометрические параметры печатных плат, мм	Класс точности				
	1	2	3	4	5
Ширина проводника *t*	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Расстояние между проводниками *S*	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Ширина гарантийного пояска *b*	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
Относительная толщина ПП *J*	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

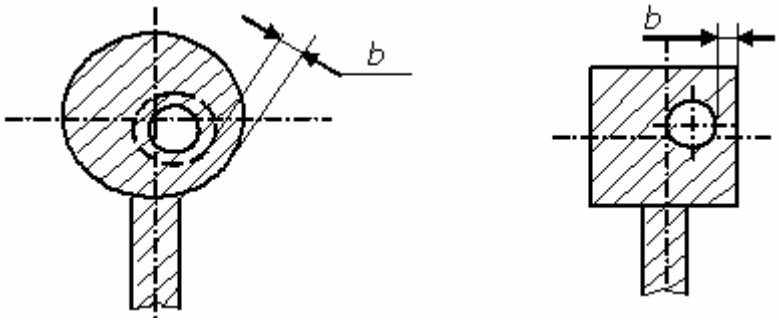
Ширина печатного проводника – поперечный размер проводника на любом участке в плоскости основания.

Расстояние между проводниками – расстояние между краями соседних проводников на одном слое ПП.

Ширина гарантийного пояска – расстояние между краем монтажного отверстия и краем контактной площадки (рис. 7.10).

Относительная толщина ПП – отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы. Толщина платы определяется толщиной материала основания с учетом толщины фольги.

Первоначально выбранный класс точности при дальнейшей разработке может быть изменен, поскольку конструирование есть итерационный процесс синтеза через анализ.



а б

Рис. 7.10. Гарантийный поясок: *а* – металлизированное отверстие; *б* – неметаллизированное отверстие

Кроме параметров печатных плат, указанных в табл. 7.5, класс точности влияет на позиционные допуски расположения осей монтажных и переходных отверстий, позиционные допуски расположения контактных площадок и проводников. Таким образом, он определяет ограничения на элементы печатных плат, накладываемые существующими технологическими процессами.

Выбор шага координатной сетки. Координатная сетка вводится для задания координат центров монтажных и переходных отверстий, контактных площадок и других элементов печатного рисунка на поверхности ПП и является самым удобным способом для указанных целей. Альтернативные способы задания координат приведены в ГОСТ 2.417.

Шаг координатной сетки – это расстояние между линиями координатной сетки. Его значения (для прямоугольных координат) установлены ГОСТ 10317: 2,5; 1,25; 0,625 и 0,5 мм. Шаг 2,5 мм является основным, шаг 0,5 мм применять не рекомендуется.

При выборе шага сетки руководствуются следующими соображениями:

для классов точности 1 и 2, при низкой плотности монтажа, выбирают шаг 2,5 мм;

шаг 1,25 мм применяют в том случае, если на плату устанавливают многовыводные элементы с шагом расположения выводов 1,25 мм, так как все монтажные отверстия должны попадать в узлы координатной сетки.

При использовании многовыводных элементов (количество выводов по одной стороне – более 24) зарубежного производства необходимо применять не метрическую, а дюймовую систему задания шага в САПРах ПП для обеспечения условий сборки ПУ.

Применяемое технологическое оборудование для автоматизированного производства ПП тоже накладывает свои ограничения, так как большинство из них имеет дискретность установки шага 0,25 мм.

7.7. Выбор типа, габаритов и материала основания ПП

Выбор типа ПП. При проектировании печатного монтажа разработчик должен стремиться к минимизации стоимости ПП и, соответственно, числа проводящих слоев. При этом ряд топологических задач решается введением навесных перемычек (объемных проводников). Например, 80–90 % бытовой аудио- и видеотехники ведущих зарубежных производителей (SONI, PANASONIC, LG и т. д.) выполняется на односторонних печатных платах. Для повышения надежности в критичных местах (места частых перепаек, подключения внешних проводников) устанавливаются металлические заклепки.

Количество перемычек обычно не превышает 5 % от числа печатных проводников. При автоматизированной сборке ПУ количество перемычек не должно быть более четырех на 100 см^2 площади ПП.

Таким образом, при отсутствии специальных требований, например по увеличению надежности, первоначально желательно выбирать одностороннюю плату.

Выбор материала основания ПП. Материал основания выбирается исходя из:

- электрических характеристик (частотный диапазон, пробивное напряжение и т. д.);
- климатических воздействий (температура и влажность);
- стойкости к механическим воздействиям (прочность, жесткость, ударная вязкость и т. д.);
- типа печатной платы (количество слоев) и способа ее изготовления.

Материалы печатных плат выбирают по ГОСТ 10316 и ОСТ 4.010.022.

Для оснований обычно используют изоляционные материалы типа фольгированных пластмасс. Наибольшее распространение в производстве ПП получили фольгированный гетинакс марок ГФ-1 (фольгированный с одной стороны), ГФ-2 (фольгированный с двух сторон) и фольгированный стеклотекстолит марок СФ-1 (фольгированный с одной стороны), СФ-2 (фольгированный с двух сторон).

Выбор металлического основания оправдан при необходимости уменьшения (в 3–4 раза) теплового сопротивления платы. Металлическое основание представляет собой лист металла толщиной 0,5 мм с полимерной пленкой толщиной 0,15 мм, накатанной с двух сторон листа.

Улучшенными тепловыми характеристиками обладает и конструкция печатного узла, представленного на рис. 7.11. Такие конструкции целесообразно применять при кондуктивных способах отвода тепла и больших механических нагрузках (например, в бортовых и космических ЭС).

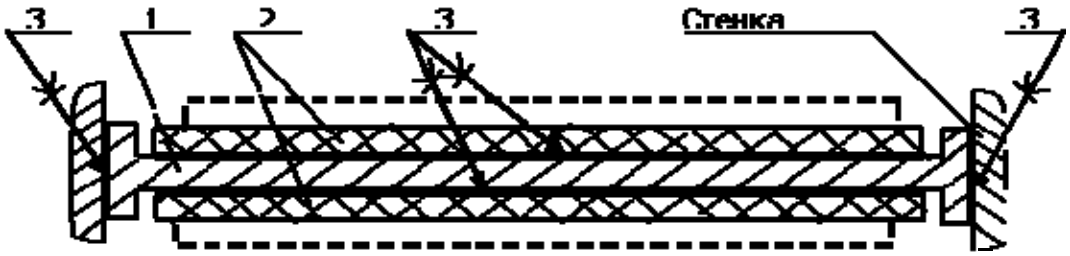


Рис. 7.11. Конструкция печатной платы с кондуктивным отводом тепла:
1 – металлическое основание (алюминиевый сплав); *2* – печатные платы с элементами, установленными по планарной технологии; *3* – клеевые соединения

0,1 0,2 0,4	0,8 1,0 1,5 2,0 3,0
Гибкие	Жесткие

Рис. 7.12. Значения толщины гибких и жестких оснований ПП

Кроме материала основания на такие свойства ПП, как жесткость и теплопроводность, оказывает влияние и ее толщина. На рис. 7.12 приведен размерный ряд значений толщины гибких и жестких оснований ПП (в миллиметрах).

Наибольшее распространение в применении получили толщины 1,0 и 1,5 мм. Толщина 1,0 мм обычно используется для плат с габаритами сторон не более 100 мм.

Выбор габаритов ПП. Габариты и конфигурация печатной платы задаются в ЧТЗ одним из следующих способов:

жестко – указанием всех необходимых размеров, определяемых конфигурацией платы;

ориентировочно – указанием:

а) размеров других плат изделия с целью их унификации;

б) площади платы;

в) площади платы и соотношения сторон.

По конфигурации наиболее предпочтительна прямоугольная форма ПП, круглая и другие формы должны применяться только в технически обоснованных случаях.

Независимо от способа задания габаритов предварительно определяется необходимая площадь печатной платы. Однако если для первого способа этим должна быть подтверждена возможность реализации печатного монтажа на заданной площади ПП, то для остальных нахождение площади, занимаемой ЭРЭ, – основание для выбора численных значений габаритных размеров.

Площадь, занимаемая ЭРЭ ($S_{ЭРЭ}$), вычисляется как сумма установочных площадей ЭРЭ S_i, определенных при анализе ЧТЗ. Расчетная площадь печатной платы $S_р$, необходимая для расположения n-го количества ЭРЭ (рабочая или монтажная зона), определяется как

$$S_{\text{р}} = \frac{S_i}{k_{\text{з}}}, \qquad (7.2)$$

где $k_{\text{з}} \approx 0{,}6–0{,}7$ – коэффициент заполнения по площади.

Установочной площадью называют контур площадки, занимаемой на ПП i-м навесным элементом. На рис. 7.13 условно представлены возможные зоны, влияющие на величину установочной площади. В зону коммутации помимо выводов электрорадиоэлемента входят и контактные площадки, необходимые для обеспечения электрического контактирования.

Зона для возможности применения автоматизированной сборки определяется применяемым инструментом. Границы тепловой зоны и зоны электромагнитного влияния вычисляются при анализе теплового режима и электромагнитной совместимости и учитываются, как правило, при окончательном размещении ЭРЭ.

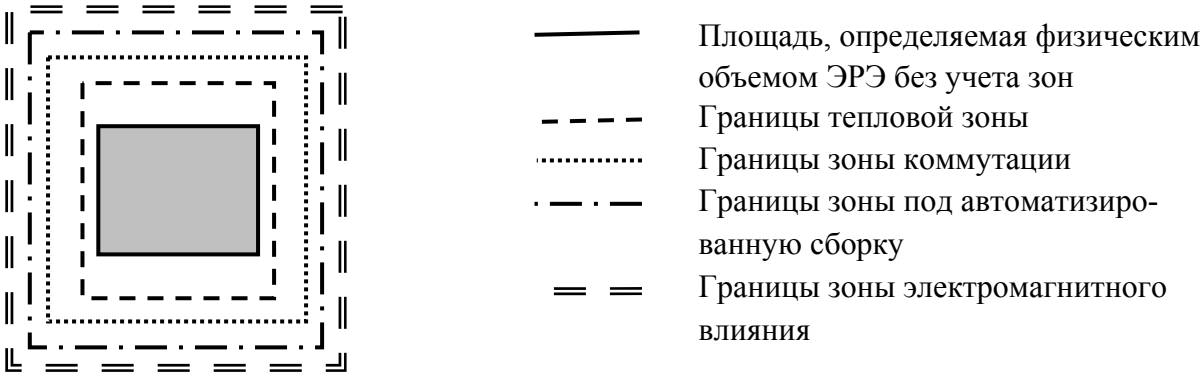


Рис. 7.13. Возможные зоны, учитываемые в процессе определения установочных площадей (границы зон показаны условно)

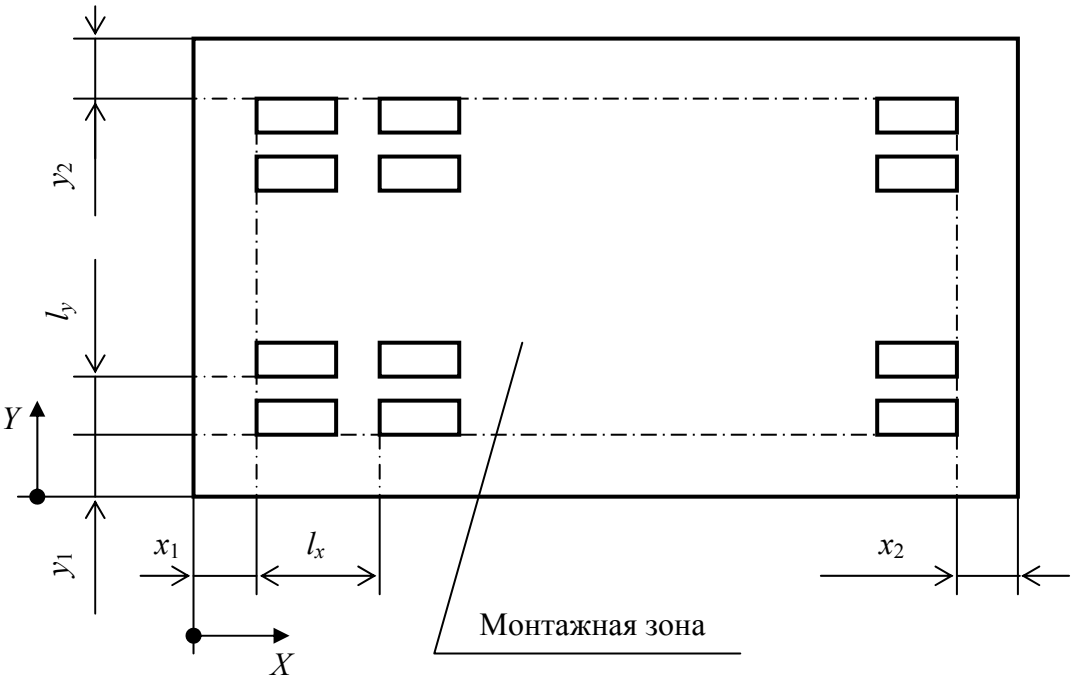


Рис. 7.14. Расположение компоновочных зон на ПП

Площадь ПП (рис. 7.14) состоит из рабочей (монтажной) зоны и зоны краевого поля, предусматриваемого для вспомогательных целей (размещения разъемов, крепежных отверстий, зон для направляющих элементов и т. п.).

Ширина краевого поля есть расстояние от края ПП до первого ряда посадочных мест (рис. 7.14). Она состоит из четырех зон:

x_1, x_2 – ширина краевого поля по оси X (как правило, одинакова слева и справа), которая определяется направляющими элементами конструкции, конструкцией выводов устанавливаемых на ПП ЭРЭ, крепежными изделиями и т. д.;

y_1 – ширина краевого поля нижней кромки ПП, предназначенного для установки соединителя. Размер краевого поля y_1 зависит от типа выбранного соединителя (табл. 7.6);

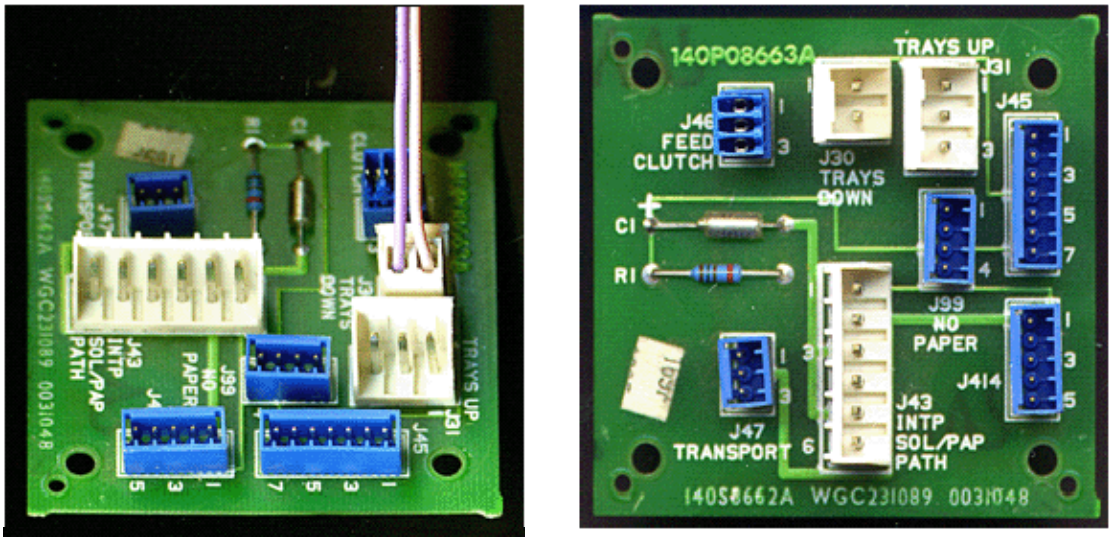
y_2 – ширина краевого поля на верхней кромке ПП, где размещаются: лицевая панель для модулей кассетной конструкции (рис. 7.14) и контрольные гнезда.

Для штыревых выводов величину x принимают равной 5 мм, для планарных – 2,5 мм. Величина y_2 при отсутствии контрольных гнезд равна 2,5 мм, а при их наличии – 12,5 мм. При установке лицевых панелей y_2 увеличивается примерно на 5–10 мм и зависит от конкретного конструктивного исполнения.

В последнее время с применением малогабаритных соединителей типа СНП 10 и плоских кабелей для ряда радиотехнических изделий (бытовая радиоаппаратура, персональные ЭВМ, электронные телефонные аппараты и т. п.) внешнее соединение может производиться через разъемы, установленные в монтажной зоне (рис. 7.15). Однако распайка одиночных проводников и жгутов на ПП должна производиться только в зонах краевого поля.

Монтажная зона, предназначенная для размещения ЭРЭ, определяется при установке однотипных микросхем не только их установочными площадями, но и шагом установки (табл. 7.7).

При вычислении габаритов ПП необходимо учитывать и то, что от края платы до центра крепежного отверстия должно быть не менее 5 мм. Кроме того, крепежные изделия (шайбы, гайки и т. п.) или их элементы (головки винтов, болтов и т. д.) не должны выступать за габариты печатной платы.



а *б*

Рис. 7.15. Расположение разъемов по всей площади ПП

Таблица 7.6

Зависимость размера краевого поля y_1 от типа соединителя

Тип соединителя	Число контактов	Ответная часть	Паяльный шов	y_1
ГРППЗ	14; 36; 46; 58	Вилка	В отверстии	17,5
ГРППЗ	14	Вилка	Внахлест	15,0
ГРПМ1-ШУ	31; 45; 51; 90	Вилка или розетка	В отверстии	22,5
ГРПМ1-ШУ	122	Вилка или розетка	В отверстии	25,0
ГРПМ1-ГУ	25	Вилка или розетка	В отверстии	25,0
ГРПМ9-Н	25	Вилка	Внахлест	17,5
РППМ-2	142	Вилка	Внахлест	22,5
РППМ-26	17; 72	Вилка	Внахлест	17,5
СНП34	135	Розетка	В отверстии	15,0
СНП58	16; 32; 48; 64; 96	Вилка	В отверстии	17,0
СНП59	16; 32; 48; 64	Вилка	В отверстии	18,5
Кабель гибкий печатный	–	–	В отверстии или внахлест	25,0
Жгут объемный	–	–	В отверстии	35,0

Таблица 7.7

Шаги установки микросхем в зависимости от среднего числа задействованных выводов

Корпус по ГОСТ 17467	Среднее число задействованных выводов в одной МС, не более	Шаг установки по осям, мм	
		l_x	l_y
1203.14-5	8	22,5	15,0
	9	22,5	17,5
	11	25,0	17,5
	12	25,0	20,0
	14	27,5	22,5
1206.14-5	8	22,5	25,0
	10	25,0	25,0
	12	27,5	25,0
	14	29,0	25,0
1207.14-5	8	22,5	32,5
	10	25,0	35,0
	12	27,5	37,5
	14	29,0	39,0
51211.28-5	13	42,5	32,5
	20	47,5	32,5
	22	50,0	32,5
	24	52,5	32,5
	26	55,0	32,5
	28	57,5	32,5

Если конфигурация и габариты платы не определены жестко базовой несущей конструкцией (например, «База-1», «База-2», «База-3», «База-4», ЕВРОМЕХАНИКА и т. д.), то полученные численные значения размеров длины и ширины ПП следует выбирать в соответствии с ОСТ 4.010.020 (табл. 7.8).

Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм. Соотношение линейных размеров сторон ПП должно быть не более 3:1, предпочтительное – 2:1.

Размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными, например: 2,5 – при длине до 100 мм; 5 – при длине до 350 мм; 10 – при длине более 350 мм.

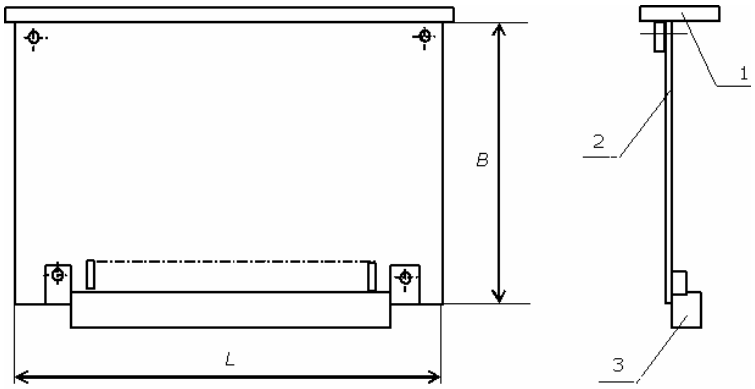
Допуски на линейные размеры сторон печатной платы должны соответствовать ГОСТ 25346 и ГОСТ 25347. Для сопрягаемых размеров ПП (например, при установке по направляющим) устанавливается допуск по 12-му квалитету, для несопрягаемых – по 14-му. Отклонение от перпендикулярности печатных плат не должно быть более 0,2 на 100 мм длины.

Рекомендуемое количество типоразмеров ПП в изделии – не более трех.

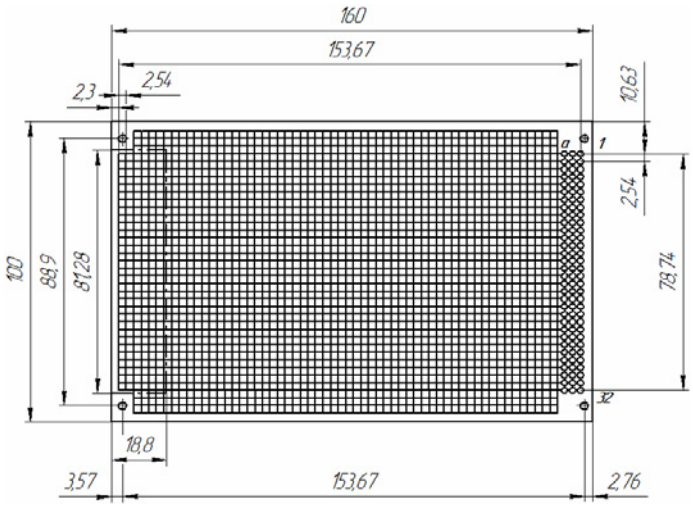
Таблица 7.8

Линейные размеры ОПП, ДПП, МПП на жестком основании

Размер сторон печатных плат, мм					
Ширина	Длина	Ширина	Длина	Ширина	Длина
22,5	60	70	(70); (90); 110; 120; (140); 150	120	140; (160); 180; 200; 220; 240; 280
30	40; 55; 60; (90)	75	170	130	150; 170; 200; 300
35	100	80	80; 90; 100; (110); 140; 160; 200; 240	140	(140); 150; 220; 240; 280
40	(40); 50; 60; (80); 100; 120	85	150	150	170; (180); 200; 240; 280
50	(50); 60; (70); 75; 80; 100	90	(90); 100; 110; 120; 130; 150; 160; 170; (180); 200; 260	160	200; 210; 240; 320
60 62,5	60; (75); 80; 90; (100); 125	100 105	100; 110; 120; 150; 160; (170) 125; 130	170 185	170; 200; 240; 250; 270; 280; 300; 340 205; 270
65	90; 100	110	150; (160); 170; (200); 260	200	220; 240; 3200
				240	300; 320



а



б

Рис. 7.16. Конструктивное исполнение: *а* – ячейки; *б* – европлаты:
1 – панель; *2* – печатный узел; *3* – электрический соединитель (один или два)

Проектирование технологичной ЭС основано на модульном принципе. В настоящее время существует ряд систем модульных конструктивов, которые предназначены для размещения стандартных плат, кассет и конструкций, унифицированных по высоте, ширине и глубине. В них приняты несколько опорных и рекомендуемых для повторения величин высоты, ширины и глубины. Эти конструктивы учитывают тот факт, что в раму (корзину, крейт) могут встраиваться изделия различных производителей.

Модульные конструкции с ПУ (рис. 7.16) в отечественной литературе называются *ячейками*, для стандарта ЕВРОМЕХАНИКА приняты названия *плата* (*Druckplatte*) и *кассета* (*Kassete*).

Плата, в отличие от кассеты, представляет собой бескаркасную конструкцию, ячейка может быть как каркасной, так и бескаркасной.

Базовые несущие конструкции (БНК) для ЭС, определяющие размеры печатных плат, делятся на три уровня: БНК-1, БНК-2 и БНК-3. Структура обозначения входящих в них ячеек имеет следующий вид.

Для конструкций БНК-1 и БНК-2 модуль приращения $M = 5$, для БНК-3 – $M = 10$. Соответственно, для ячейки БНК-1 Я34.15.01.01 размеры печатной платы $H \times B = 170 \times 75$ мм.

Для универсальных типовых конструкций УТК-I и УТК-II применяются три типоразмера печатных плат: 140 × 150, 160 × 220 и 160 × 280. Печатные платы типоразмера 140 × 150 предназначены для кассетной компоновки блоков, типоразмера 160 × 220 – для книжной компоновки, типоразмера 160 × 280 – для установки в частичный блок.

Размеры европлаты в стандарте ЕВРОМЕХАНИКА приведены на рис. 7.16, *б*.

Исходя из изложенного, можно рекомендовать такую последовательность в предварительном определении габаритных размеров ПП:

- вычисление площади монтажной зоны по формуле (7.2);
- определение длины и ширины монтажной зоны. В первом приближении их можно определить как $L = B = \sqrt{S}$;
- учет габаритных размеров зон подключения внешних выводов;
- учет габаритных размеров зон размещения элементов контроля;
- учет зон механического крепления ПП и зон, определяемых несущей конструкцией блока (направляющие и т. п.);
- приведение полученных значений размеров к стандартным (см. табл. 7.8).

Лекция 22

План лекции

7.8. Расчет элементов печатного рисунка.
7.9. Расчет диаметров отверстий.
7.10. Выбор формы и размеров контактных площадок.
7.11. Расчет параметров проводников.
7.12. Расчет расстояния между элементами печатного рисунка.
Литература: [12, 17, 30, 32, 33].

7.8. Расчет элементов печатного рисунка

При реализации схемотехнических решений минимально необходимые размеры элементов печатного монтажа и их взаимное расположение определяются в результате расчета исходя из технологических ограничений и заданных электрических параметров. Однако из практики известно, что слишком малые размеры элементов и жесткие допуски значительно снижают процент выхода годных изделий, поэтому при конструировании печатных плат после определения параметров элементов необходимо определить их оптимальные размеры, зазоры между ними и допуски на изготовление.

К параметрам элементов печатной схемы, которые необходимо определить перед трассировкой, относятся:

- диаметры монтажных и переходных отверстий;
- форма и размеры контактных площадок;
- размеры печатных проводников;
- расстояния между элементами печатного рисунка.

Расчет или обоснование численных значений параметров указанных элементов проводятся исходя из технологических ограничений и электрических режимов работы (токов, напряжений и т. д.) проектируемого ПУ.

При проведении энергетических расчетов допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка ПП (в зависимости от допустимого перегрева проводника относительно температуры окружающей среды) выбирают по табл. 7.9. Для проводников, имеющих дополнительное металлическое покрытие менее 12 мкм, за толщину принимают толщину основного проводящего слоя (фольги). При толщине покрытия более 12 мкм за толщину принимают суммарную толщину основной и осажденной меди $H_{пр}$. Величину допустимой токовой нагрузки следует уменьшать на 15 % для проводников, расположенных на расстоянии, равном или меньшем их ширины, а также для проводников, выполненных по полуаддитивной или аддитивной технологиям.

Таблица 7.9

Допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка ПП

Характеристика медного слоя	Допустимая токовая нагрузка, А/мм^2
Медная фольга	От 100 до 250
Гальваническая медь	От 60 до 100

При использовании значений ширины печатного проводника t, расстояния между проводниками S и ширины гарантийного пояска b, указанных в табл. 7.5, следует иметь в виду, что они заданы для узких мест. Для свободных мест указанные значения следует устанавливать по любому более низкому классу, а для первого класса – увеличивать в два раза.

7.9. Расчет диаметров отверстий

Расчет рекомендуется начинать с определения размеров металлизированных отверстий. Металлизированные отверстия на печатных платах могут быть двух типов: *переходные* – для создания электрических связей между слоями (контактирование между слоями производят только через отверстия, через край ПП – недопустимо) и *монтажные* – для крепления вывода ЭРЭ. Для переходных отверстий с целью увеличения плотности монтажа диаметр выбирается по возможности минимальным и ограничивается только рассеивающей плотностью электролита, которая влияет на качество осаждения меди на диэлектрик.

Минимальный диаметр $d_{мин}$ металлизированного отверстия зависит в первую очередь от класса точности и определяется из следующего соотношения:

$$d_{мин} = JH, \tag{7.3}$$

где J – относительная толщина ПП; H – толщина платы с учетом фольги.

Особенностью отверстий в пластмассах, применяемых для оснований ПП (в отличие от металлов), является то, что допуск на номинальный размер диаметра может быть как положительным, так и отрицательным, в соответствии с ГОСТ 23751. Это связано с тем, что в отверстиях возможно выступание неполимеризовавшейся смолы (отрицательное поле допуска), а также усадки диэлектрической подложки. Поэтому минимально применимый диаметр переходного отверстия необходимо вычислять по формуле

$$d_{пер} = JH + |\Delta d|, \tag{7.4}$$

где Δd – максимальное предельное отклонение диаметра рассчитываемого отверстия. Для переходных отверстий значение Δd следует выбирать как для металлизированных отверстий (табл. 7.10).

При установке объемных проводников и выводов элементов в металлизированное монтажное отверстие обеспечивается более надежный электрический контакт при пайке. Как видно из рис. 7.17, в этом случае припой затекает в отверстие и тем самым уменьшает возможность создания «ложных» паек.

Диаметр монтажного отверстия, в отличие от переходного, должен быть больше диаметра вывода на величину, удовлетворяющую условиям пайки и автоматизированной сборки, и может быть рассчитан следующим образом:

$$d_{\text{пер}} = d_{\text{выв}} + |\Delta d| + r, \qquad (7.5)$$

где $d_{\text{выв}}$ – диаметр (для прямоугольных выводов – размер по наибольшей стороне) вывода ЭРЭ; r – гарантированный зазор между диаметром монтажного отверстия и выводом ЭРЭ.

Величину для монтажных отверстий следует выбирать с учетом всех факторов – диаметра, металлизации и оплавления. Оплавление следует учитывать при нанесении покрытий (припой ПОС-61 и сплав РОЗЕ) горячим методом (для ПП, изготовленных фотоспособами) или гальваническим (О-С (60) с последующим оплавлением (комбинированный позитивный способ или полуаддитивная технология).

Численное значение гарантированного зазора r лежит в пределах от 0,1 до 0,4 мм и выбирается исходя из следующего. Чем меньше зазор, тем больше капиллярный эффект и, соответственно, лучше пропай в монтажном отверстии. С другой стороны, большая величина зазора облегчает автоматизацию сборочных работ. Поэтому при автоматизированной установке ЭРЭ на ПП желательно применять металлизированные отверстия с зазором, равным 0,4 мм.

Формула (7.5) применима для случая, когда $d_{\text{выв}} > d_{\text{пер}}$. Для обратной ситуации при расчете $d_{\text{монт}}$ необходимо пользоваться следующим выражением:

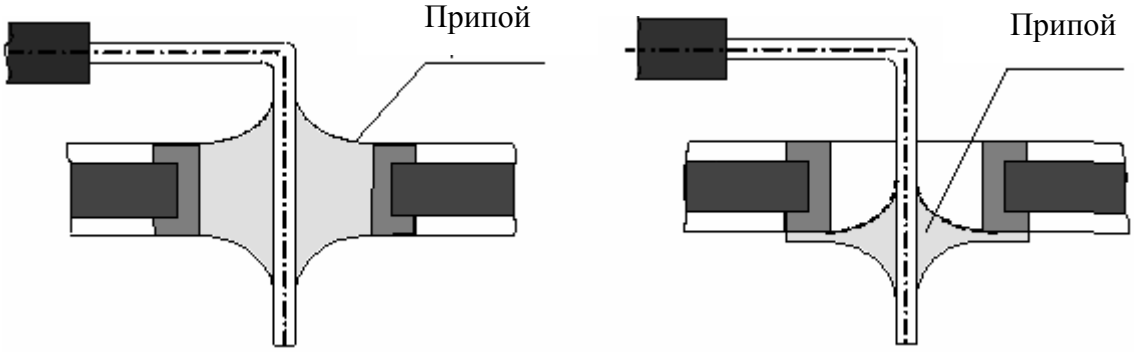
$$d_{\text{пер}} = JH + |\Delta d| + r. \qquad (7.6)$$

Условия выбора значения такие же, как и для выражения (7.5). Обычно монтажные отверстия диаметром менее 0,5H не применяют.

Таблица 7.10

Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий

Диаметр отверстий	Наличие металлизации	Предельные отклонения диаметра Δd, мм				
		Класс точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металлизации	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,05
	С металлизацией без оплавления	+0,05 –0,15	+0,05 –0,15	+0 –0,1	+0 –0,1	+0 –0,075
	С металлизацией и с оплавлением	+0,05 –0,18	+0,05 –0,18	+0 –0,13	+0 –0,13	+0 –0,13
Свыше 1,0	Без металлизации	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,01
	С металлизацией без оплавления	+0,1 –0,20	+0,1 –0,20	+0,05 –0,15	+0,05 –0,15	+0,05 –0,15
	С металлизацией и с оплавлением	+0,1 –0,23	+0,1 –0,23	+0,05 –0,18	+0,05 –0,18	+0,05 –0,18



а б

Рис. 7.17. Вид паяного соединения: *а* – пайка металлизированного отверстия; *б* – пайка неметаллизированного отверстия

Диаметры неметаллизированных монтажных отверстий рассчитывают по выражению (7.5) с учетом того, что при автоматизированной сборке ПУ гарантированный зазор r = 0,4 мм, при ручной сборке r = 0,1–0,2 мм.

Расчетные значения диаметров монтажных и переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий приводятся к номинальным, которые в соответствии с ГОСТ 10317 должны быть выбраны из ряда 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0.

Предпочтительные размеры монтажных отверстий выбирают из ряда 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5, переходных – из ряда 0,7; 0,9; 1,1. Рекомендуемое количество типоразмеров значений диаметров – не более трех, как для монтажных, так и для переходных отверстий.

Для переходных отверстий необходимо проводить поверочные расчеты на возможность протекания через них заданного в ЧТЗ тока. Толщина осажденной меди в отверстиях составляет 20–25 мкм.

Металлизированные отверстия *не выполняют* на гетинаксе, фольгированном фторопласте (ФФ-4) и фольгированном армированном фторопласте (ФАФ-4). Гетинакс имеет температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) отличный от ТКЛР меди примерно в 10 раз (стеклотекстолит – всего в три раза), поэтому возможно отслаивание осажденной металлизации. С фторопластом осажденная медь имеет плохую адгезию, и, соответственно, надежность металлизированных отверстий в ФФ-4 и ФАФ-4 низка.

7.10. Выбор формы и размеров контактных площадок

Для припайки к печатному проводнику объемного проводника или вывода навесного ЭРЭ, на проводнике делают контактную площадку (КП) в виде участка с увеличенной шириной. Наиболее широко применяются четыре формы контактных площадок (рис. 7.18).

Рис. 7.18. Основные формы контактных площадок:
1 – круглая; *2* – прямоугольная; *3* – овальная; *4* – клиновидная

Самая распространенная КП – круглая контактная площадка технологична и обеспечивает равномерное растекание припоя. Овальная КП при равномерном растекании припоя создает более прочное и надежное соединение. Прямоугольная контактная площадка, из-за неравномерности растекания припоя и, соответственно, низкого качества соединения, для монтажа выводов ЭРЭ в отверстия практически не применяется. Основное ее назначение – КП для пайки планарных выводов микросхем и бескорпусных ЭРЭ.

Клиновидные КП применяются в узких местах при недостатке площади под другие типы контактных площадок.

Рассмотрим вычисление минимального диаметра $D_{\min}$ круглой КП для различных методов изготовления печатной платы. В основу расчетов положено определение минимального эффективного диаметра контактной площадки для каждого монтажного или переходного отверстия:

$$D_{i\,\text{эфф}} = 2(b + d_{i\,\min}/2 + T_d + T_D), \qquad (7.7)$$

где $d_{i\ \min}$ – максимальный диаметр монтажного или переходного отверстия с учетом допуска; T_d и T_D – позиционные допуски расположения осей отверстий и контактных площадок по ГОСТ 23751 соответственно.

Минимальный эффективный диаметр – это диаметр, полученный при изготовлении с учетом подтрава проводящего слоя под защитной маской (подтрав составляет порядка 70 % от толщины проводящего слоя). Поскольку толщина проводящего слоя $H_{пр}$ (т. е. толщина фольги плюс толщина осажденной меди) различается для различных типов печатных плат, то при расчете минимального диаметра контактной площадки обязательно должен быть учтен способ изготовления ПП. Способ нанесения защитной маски также влияет на величину $D_{\min}$.

Для субтрактивных технологий

$$D_{\min} = D_{i\ эфф} + 1{,}5H_{пр}. \qquad (7.8)$$

Для комбинированного позитивного метода и полуаддитивной технологии при фотохимическом способе нанесения защитной маски

$$D_{\min} = D_{i\ эфф} + 1{,}5H_{пр} + 0{,}03. \qquad (7.9)$$

Для сеткографического способа нанесения защитной маски

$$D_{\min} = D_{i\ эфф} + 1{,}5H_{пр} + 0{,}08. \qquad (7.10)$$

Толщина осажденной меди для комбинированного позитивного способа изготовления ПП составляет 15–25 мкм.

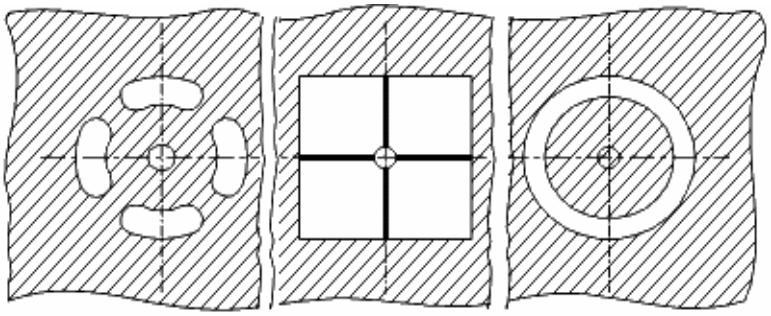
Контактную площадку, рассчитанную по формулам (7.8), (7.9), (7.10), необходимо развивать в свободную сторону, чтобы ее площадь, без учета отверстия, составляла для 1-го и 2-го классов точности не менее 2,5 мм^2, а для 3-го и 4-го – 1,6 мм^2.

Контактные площадки выполняют около каждого монтажного отверстия, для металлизированных отверстий – с двух сторон. При попадании в зону экрана КП формируют вырезами (секторными или кольцевыми), для предотвращения растекания припоя по экрану при пайке (рис. 7.19, *а*, *б*) или создания изоляционного зазора (рис. 7.19, *в*).

Обеспечение качественной пайки в зоне подсоединения вывода возможно только для контактной площадки с площадью не более 8 мм^2. Поэтому формирование контактных площадок вырезами производится в случае подсоединения вывода как к печатному экрану, так и к широким проводникам.

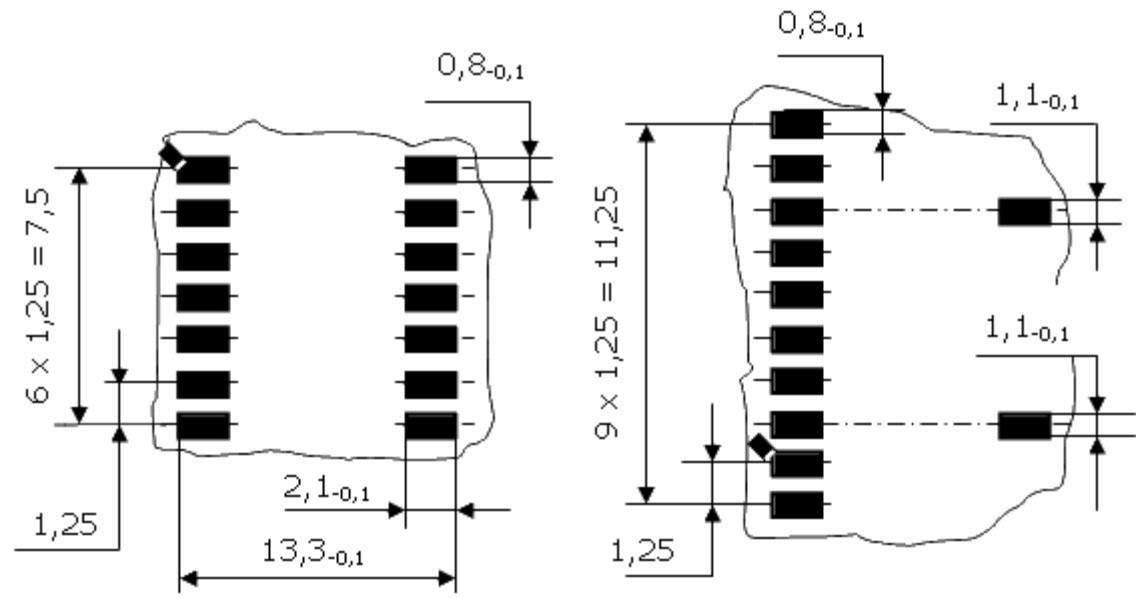
Количество секторных вырезов (рис. 7.19, *а*) – 2–4, их ширина – 1–1,5 мм, расстояние между ними – 1–2 мм. Ширина одного проводника (перемычки) в случае прямоугольных вырезов (рис. 7.19, *б*) должна быть не менее минимальной (из технологических ограничений) для широких мест, а суммарное сечение перемычек должно обеспечивать протекание заданного тока.

В ОСТ 4.010.030 – «Установка навесных элементов на печатные платы» приведены размеры контактных групп для микросхем с планарными выводами (рис. 7.20).



а *б* *в*

Рис. 7.19. Формирование контактных площадок в зоне экрана:
а, *б* – при электрическом контакте с экраном; *в* – без электрического контакта



а *б*

Рис. 7.20. Пример контактных групп для микросхем с прямоугольными контактными площадками: *а* – для микросхемы в корпусе 401.14-3; *б* – для диодной матрицы 2Д 908А

Таблица 7.11

Предельные отклонения ширины печатных элементов

Наличие металлического покрытия	Предельное отклонение ширины печатных элементов Δt, мм				
	Класс точности				
	1	2	3	4	5
Без покрытия	±0,15	±0,10	±0,05	±0,03	+0 –0,03
С покрытием	+0,25 –0,20	+0,15 –0,10	±0,10	±0,05	±0,03

При специальном проектировании прямоугольных контактных площадок их габаритные размеры должны быть больше соответствующих размеров выводов на 0,1–0,4 мм, а расстояние между ними соответствовать 1–2-му классам точности.

Габариты прямоугольных КП для бескорпусных ЭРЭ и под планарные выводы ЭРЭ зависят от размеров паяемых элементов или выводов, а расстояние между КП определяется возможностями технологического оборудования и электрической прочностью.

Предельные отклонения размеров ширины печатных элементов Δt (проводников, контактных площадок, концевых печатных контактов, экранов) для узких мест не должны превышать значений, указанных в табл. 7.11.

7.11. Расчет параметров проводников

Расчет минимальной ширины проводника $t_{\min}$ должен производиться так же, как и для диаметра КП, с учетом подтрава проводящего слоя.

Для субтрактивных технологий

$$t_{\min} = t_{i\,\min} + 1{,}5H_{\text{пр}}, \tag{7.11}$$

где $t_{\min}$ – минимальная ширина проводника, определяемая классом точности или полученная при проведении энергетических расчетов.

Для комбинированного позитивного метода и полуаддитивной технологии при фотохимическом способе нанесения защитной маски

$$t_{\min} = t_{i\,\min} + 1{,}5H_{\text{пр}} + 0{,}03. \tag{7.12}$$

Для сеткографического способа нанесения защитной маски

$$t_{\min} = t_{i\,\min} + 1{,}5H_{\text{пр}} + 0{,}08. \tag{7.13}$$

Плотность тока и потери кроме ширины проводника t зависят и от толщины проводящего слоя $H_{\text{пр}}$, которая определяется толщиной фольги и, при использовании полуаддитивных технологий, толщиной гальванически наращенной меди. Толщина фольги (в зависимости от марки применяемого материала) регламентирована для отечественных фольгированных диэлектриков значениями 5, 20, 35 и 50 мкм, для импортных – 12, 18 и 35 мкм. Если потери несущественны для работы электрической схемы, то предпочтение отдается минимальной толщине. Проводники толщиной более 50 мкм изготавливать не рекомендуется, так как с увеличением толщины происходит ухудшение сцепления проводника с материалом основания ПП.

Допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка ПП (в зависимости от допустимого перегрева проводника относительно температуры окружающей среды) выбирают по табл. 7.9. На графике рис. 7.21 приведена нагрузочная способность по току одиночных медных проводников постоянной ширины $S_{пр}$, мм, расположенных на расстоянии большем, чем ширина проводников.

Представленный на рис. 7.21 график используют при выборе токовой нагрузочной способности проводников для ПП, критичных к рассеиваемой мощности с их поверхности, и проводников, допускающих прохождение тока большой плотности. Например, для проводника толщиной 35 мкм, шириной 1 мм при нагреве на 20 °С нагрузочная способность по току будет составлять примерно 3 А.

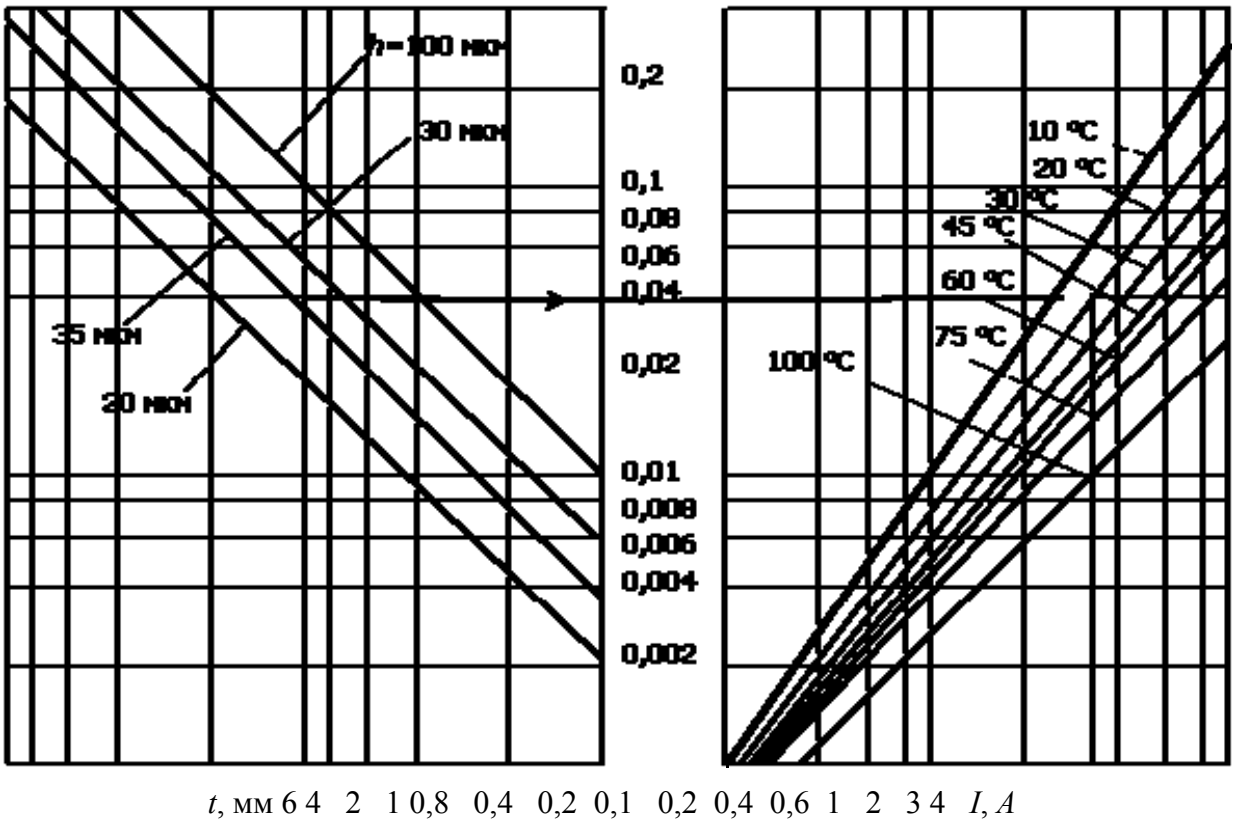


Рис. 7.21. Нагрузочная способность по току для печатных проводников

Допустимую токовую нагрузку следует уменьшать на 15 % для проводников, расположенных на расстоянии, равном или меньшем их ширины, и для проводников, выполненных по полуаддитивным технологиям. Исходя из нагрузочной способности по току, обычно выбирают 2–3 типоразмера ширины проводников на проектируемой печатной плате.

7.12. Расчет расстояния между элементами печатного рисунка

Минимальное расстояние между элементами печатного рисунка S_{min} определяется исходя из технологических возможностей производства печатных плат (разрешающая способность), условий сборки ПУ (автоматизированная или ручная) и электрических параметров (пробивного напряжения и сопротивления изоляции). Технологические ограничения S_{min} задаются классом точности, электрические – указанием в ЧТЗ пробивного напряжения, допустимых токов утечки и т. д.

Цель расчетов – определить расстояние между центрами рассматриваемых токопроводящих элементов L_0.

Расстояние L_0 между серединой проводника и центром контактной площадки определяется по формуле

$$L_0 = S_{min} + [(D_{max} / 2 + T_l) + (t_{max} / 2 + T_l)], \qquad (7.14)$$

где D_{max} – диаметр КП; с учетом допуска при изготовлении

$$D_{max} = D_{min} + (0{,}02–0{,}06);$$

T_l – позиционный допуск расположения печатного проводника относительно соседнего элемента проводящего рисунка (табл. 7.12); t_{max} – ширина печатного проводника; с учетом допуска при изготовлении

$$t_{max} = t_{min} + (0{,}02–0{,}06).$$

Таблица 7.12

Значения позиционного допуска расположения печатного проводника

Вид изделия	Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения T_l, мм				
		Класс точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП ГПК, МПП (наружный слой)	До 180 включительно	0,35	0,25	0,15	0,10	0,5
	Свыше 180 до 360 включительно	0,40	0,30	0,20	0,10	0,08
	Свыше 360	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (внутренний слой)	До 180 включительно	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
	Свыше 180 до 360 включительно	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	Свыше 360	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

Таблица 7.13

Электрофизические параметры лаков для покрытия печатных плат

Параметр	Лак		
	ФЛ-583 (фенольный)	Э-4100 (эпоксидный)	УР-231 (уретановый)
Относительная диэлектрическая проницаемость, отн. ед.	–	4	3,46
Электрическая прочность, МВ/м, не менее	75	–	75
Удельное сопротивление, Ом · см	–	10^{15}	10^{15}
Тангенс угла потерь (при f = 1 кГц), отн. ед	–	0,02	0,02
Технологическая толщина покрытия, мк: двухслойное трехслойное	 – –	 35–40 30–55	 35–40 30–55

Расстояние L_0 между центрами двух контактных площадок определяется как

$$L_0 = S_{\min} + (D_{\max} + 2T_l). \qquad (7.15)$$

Расстояние L_0 между центрами двух проводников

$$L_0 = S_{\min} + [(D_{\max} / 2 + T_l) + (t_{\max} / 2 + T_l)]. \qquad (7.16)$$

Минимально допустимое расстояние между печатными проводниками $S_{\min}$, с точки зрения обеспечения электрической прочности изоляции, определяется расположением проводников в одном или разных слоях. Нанесение на ПП диэлектрических покрытий (табл. 7.13) позволяет повысить устойчивость ПП к климатическим воздействиям, а также уменьшить расстояние между проводниками (в 1,5–2 раза) вследствие увеличения пробивного напряжения. При этом пробивное напряжение между проводниками не будет зависеть от влажности и атмосферного давления.

Лекция 23

П л а н л е к ц и и

7.13. Размещение электрорадиоэлементов.
7.14. Трассировка печатных элементов.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [12, 17, 30, 32, 33].

7.13. Размещение электрорадиоэлементов

Размещение ЭРЭ на монтажной зоне ПП проводят, учитывая выбранные варианты установки электрорадиоэлементов, формовки их выводов, ва-

рианты разметки под монтажные отверстия и контактные площадки (ОСТ 4.010.030) и придерживаясь приведенных ниже правил.

Сначала размещают входные и выходные контактные площадки, определяют зоны установки разъемов и КП для контроля, затем размещают ЭРЭ.

Контроль работоспособности печатных плат разделяется на контроль функционирования и внутрисхемный контроль. Контроль функционирования, как правило, проводится через выходные контактные площадки или выводы. Внутрисхемный контроль проводят с помощью испытательных контактных площадок, хотя их введение снижает плотность монтажа на 4–10 %.

При монтаже в отверстия электрорадиоэлементы устанавливают на ПП с одной стороны (для ОПП – со стороны, противоположной проводящему рисунку), ЭРЭ с планарными выводами можно располагать с двух сторон печатной платы.

Размещение проводят покаскадно от входа к выходу, группируя элементы одного каскада (особенно развязывающие и блокировочные конденсаторы) вблизи активного прибора. Функциональные узлы размещаются на плате отдельно друг от друга. Это позволяет, в ряде случаев без принятия дополнительных средств защиты (введение экранов, экранирующих проводников и т. п.), значительно уменьшить паразитные связи и наводки.

Условно схемы можно разделить на пять групп:

- чувствительные схемы с высоким входным импедансом (> 376,7 Ом, в которых высока вероятность возникновения паразитной емкостной связи);
- чувствительные схемы с низким входным импедансом (< 376,7 Ом, в которых высока вероятность возникновения паразитной индуктивной связи);
- схемы умеренной чувствительности или схемы, рассчитанные на умеренный уровень потребляемой мощности;
- высоковольтные схемы;
- схемы, рассчитанные на большой ток.

Аналоговые схемы обычно относятся к первым двум группам, цифровые схемы – к третьей группе, а схемы сопряжения и источники питания – к двум последним. Схемы, принадлежащие к одной и той же группе, легко объединяются и компонуются в подсистемы, однако схемы с высоким импедансом следует располагать подальше от высоковольтных схем, а схемы с низким импедансом не следует помещать рядом со схемами, рассчитанными на большой ток.

Схемы, образующие данную подсистему, должны обладать общими свойствами по входу/выходу и сравнимым уровнем помех. Такие требования обусловливают подразделение большинства систем на аналоговые и цифровые подсистемы, источники питания и подсистемы, содержащие электромагнитные приборы и переключатели.

Функциональные узлы следует размещать так, чтобы уровень сигнала возрастал с одного конца ПП к другому и можно было осуществить разводку цепей питания от источников со стороны выходного каскада (рис. 7.22).

При размещении ЭРЭ на ПП необходимо учитывать следующее:

- не следует располагать близко к теплонагруженным элементам полупроводниковые приборы, интегральные схемы, конденсаторы и другие теплочувствительные компоненты;
- должна быть предусмотрена возможность легкого доступа к элементам, которые подбираются при регулировке схемы;
- должна быть предусмотрена возможность конвективной теплоотдачи в зоне расположения теплонагруженных элементов;
- массивные и крупногабаритные ЭРЭ следует размещать вблизи элементов крепления платы.

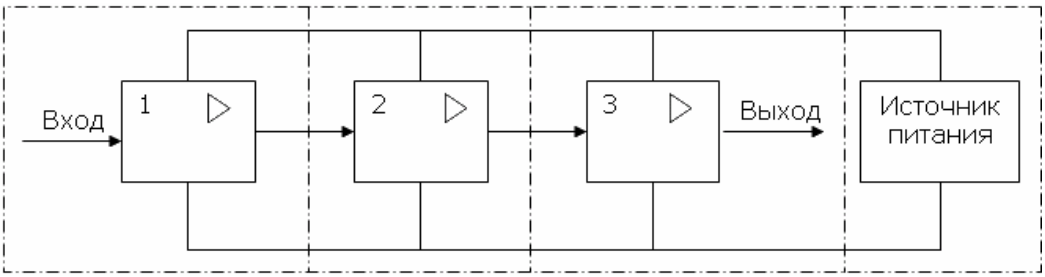


Рис. 7.22. Размещение функциональных узлов на ПП

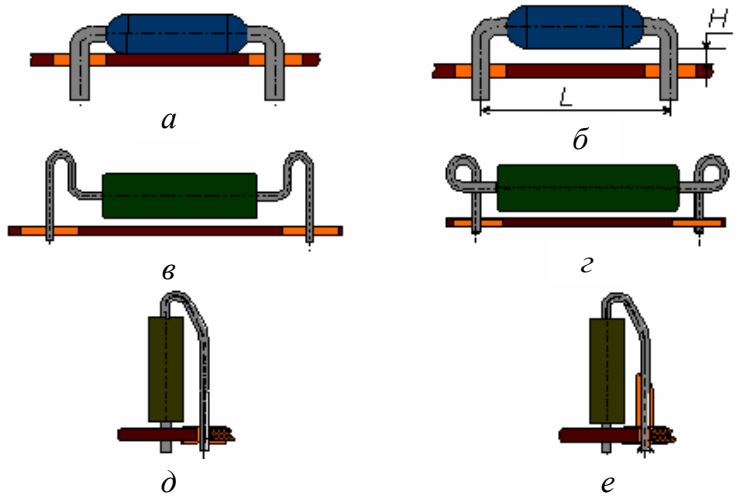


Рис. 7.23. Варианты установки ЭРЭ: *а* – непосредственно на плату; *б* – с зазором; *в*, *г* – со специальной формовкой выводов; *д*, *е* – с минимизацией установочной площади

Трансформаторы, соленоиды и другие электромагнитные устройства следует устанавливать так, чтобы их магнитные поля были направлены перпендикулярно друг другу, а сами устройства находились на максимальном расстоянии от кабелей.

Наиболее часто используемые способы установки ЭРЭ с двумя выводами показаны на рис. 7.23. Вариант установки непосредственно на плату (рис. 7.23, *а*) прост, технологичен, обеспечивает фиксацию при групповых методах пайки. Повышение механической прочности легко осуществить покрытием электроизоляционными лаками. К недостаткам можно отнести ухудшенный конвективный отвод тепла, возможность замыкания корпуса

ЭРЭ с проводниками, проложенными под ним, и пониженную ремонтопригодность.

Изоляцию производят надеванием на корпус элемента трубок из изоляционного материала, нанесением эпоксидной маски, установив электроизоляционные прокладки под корпусом ЭРЭ.

Защитная маска (тонкий слой эпоксидной смолы, термостойкой краски, сухого пленочного фоторезиста) применяется не только для электроизоляции, но и для экономии припоя при групповых методах пайки с одновременной защитой проводников. В этом случае маска наносится на весь проводящий слой, за исключением монтажных и контрольных контактных площадок. При проектировании защитной маски следует учитывать, что зазоры менее 0,3–0,5 мм недопустимы.

Наиболее полное устранение указанных недостатков обеспечивает переход к варианту установки с зазором между платой и корпусом (рис. 7.23, *б*). Однако данный вариант установки имеет ограниченное применение из-за низкой стойкости к вибрационным воздействиям (наиболее частая причина отказа в этом случае – обламывание вывода в месте крепления к корпусу) и невозможности применения групповых методов пайки.

Более устойчивы к вибрационным воздействиям варианты установки со специальной формовкой выводов (рис. 7.23, *в*, *г*). Для групповой пайки применяют либо технологические прокладки, обеспечивающие необходимый зазор (1,5–2 мм), либо дополнительную формовку, обеспечивающую фиксацию ЭРЭ (рис. 7.24).

Варианты установки, представленные на рис. 7.23, *д*, *е*, применяют для минимизации занимаемой площади. К недостаткам этих вариантов можно отнести: отсутствие возможности автоматизированной сборки и низкую стойкость к вибрационным нагрузкам. Вариант установки по рис. 7.23, *е* используют при коротких выводах компонентов.

Необходимо учитывать, что для всех типов ЭРЭ ограничено минимальное расстояние от корпуса элемента, на котором можно производить гибку вывода, и минимальное расстояние от корпуса до места пайки. Межцентровое расстояние определяется не только конструкцией компонента, но и его функциональными параметрами. Так, например, для диодов 2Д103 и КД103, имеющих одинаковое конструктивное исполнение, размер L составляет 22,5 мм, а для КД102 – 12,5 мм (см. ОСТ 4.010.030).

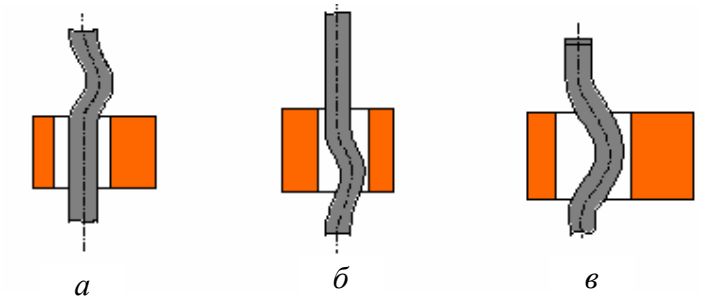


Рис. 7.24. Виды формовки выводов ЭРЭ для обеспечения возможности групповой пайки: *а* – с «зигом»; *б* – с «замком»; *в* – с «зигзамком»

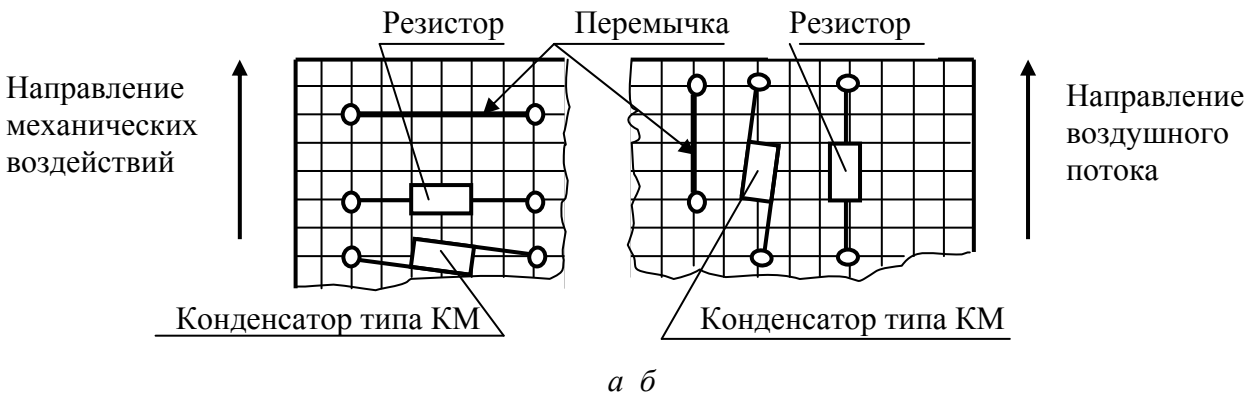


Рис. 7.25. Установка элементов на ПП:
а – с учетом направлений воздушного потока и механических воздействий;
б – без учета направлений воздушного потока и механических воздействий

Если указания о размерах от корпуса ЭРЭ до места изгиба или до места пайки выводов ЭРЭ отсутствуют в государственных стандартах или технических условиях, то ОСТ 4.010.030 устанавливает следующие размеры:

- от корпуса ЭРЭ до места пайки – не менее 2,5 мм (для полупроводниковых приборов – не менее 3 мм);
- от корпуса ЭРЭ до оси изогнутого вывода – не менее 2 мм;
- для выводов диаметром или толщиной до 0,5 мм минимальный внутренний радиус сгиба 0,5 мм;
- для выводов диаметром или толщиной 0,5–1,1 мм минимальный внутренний радиус сгиба 1 мм.

Выводы элементов одного и того же типоразмера следует изгибать на одни и те же установочные размеры по их кратности шагу координатной сетки. Для прямоугольных выводов изгиб делают по длинной стороне.

Компоненты располагают на печатной плате так, чтобы осевые линии их корпусов (или осевые линии, соединяющие центры выводов) были параллельны сторонам печатной платы (рис. 7.25) (однотипные элементы – параллельно друг другу) и центры монтажных отверстий были расположены в узлах координатной сетки. В каждом монтажном отверстии размещают один вывод.

В случае когда расстояния между выводами многоконтактных ЭРЭ, выводы которых не подлежат формовке, не кратны шагу координатной сетки, центры отверстий под выводы располагаются по следующим правилам:

- если в конструкции навесного элемента имеются два или более выводов, расстояния между которыми кратны шагу координатной сетки, то центры отверстий под эти выводы обязательно размещают в узлах сетки, а центры отверстий под другие выводы располагают согласно чертежу на данный элемент;

- если в конструкции не имеется выводов, расстояния между которыми кратны шагу координатной сетки, то в узле сетки располагают центр монтажного отверстия, принятого за основное, а остальные помещают на вертикальной или горизонтальной линиях сетки, если это допускает расположение выводов.

Для автоматической установки ЭРЭ на ПП следует оставлять зазор между корпусами не менее 1,5 мм в одном из направлений. Зазор необходим и для улучшенной ремонтопригодности. Исходя из сказанного варианты компоновки ЭРЭ на ПП (рис. 7.26) не рекомендуются.

Расстояние между осями выводов соседних ЭРЭ или осями выводов и корпусами соседних ЭРЭ должно быть не менее 2,5 мм, минимальное расстояние между корпусами дискретных ЭРЭ – 1 мм, между корпусами дискретных ЭРЭ и микросхем – 2 мм (рис. 7.27).

Кроме того, отверстия (монтажные, переходные, крепежные) в плате нужно располагать таким образом, чтобы расстояние между краями отверстий было не меньше толщины платы, в противном случае перемычка между отверстиями будет обладать малой механической прочностью.

ЭРЭ с корпусами, ориентированными вдоль одного из направлений, нужно располагать с учетом определяющего размера (например, длинной стороной вдоль направления конвекционного потока воздуха) для улучшения теплоотдачи (см. рис. 7.25, *а*). Такая же ориентация ЭРЭ (см. рис. 7.25, *б*) должна быть и при компоновке с учетом направления механических воздействий.

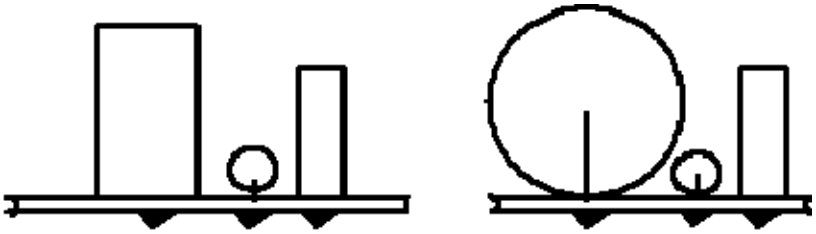


Рис. 7.26. Примеры неудачного расположения ЭРЭ на ПП

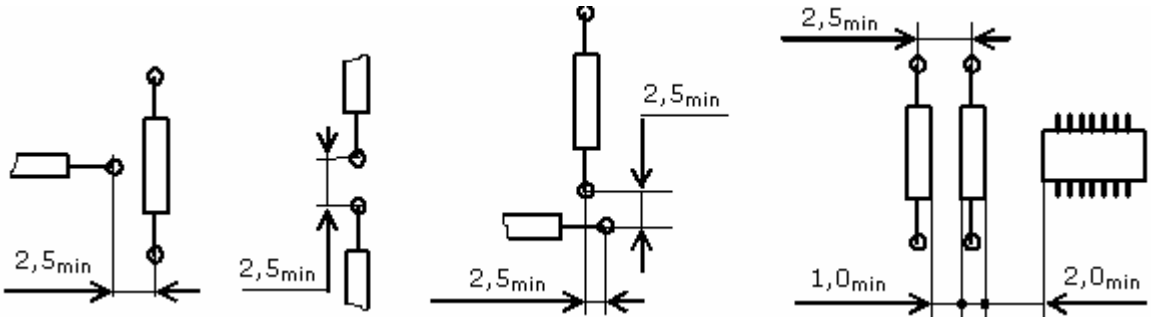


Рис. 7.27. Расположение ЭРЭ с учетом минимально допустимых расстояний

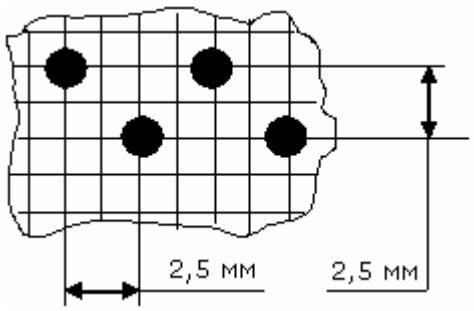


Рис. 7.28. Расположение контактных площадок для автоматизированного контроля

К элементам, устанавливаемым на плату, относят и перемычки. Они служат для соединения двух проводников одной цепи и применяются в случаях: упрощения топологического рисунка ПП, необходимости уменьшения количества проводящих слоев и для возможности раздельной настройки и регулировки отдельных ФУ. В последнем случае они устанавливаются после завершения указанных операций. Перемычки располагают параллельно сторонам платы, аналогично другим ЭРЭ (см. рис. 7.25), и их длина (до места сгиба) обязательно кратна шагу координатной сетки.

По конструктивному исполнению перемычки могут быть двух типов: выполненные из медной проволоки (покрытие – лужение или серебрение) без изоляции и с полимерной изоляцией. Использование перемычек без изоляции предпочтительнее, но их применение ограничивается односторонними печатными платами. Диаметр перемычек, как правило, 0,4–1,2 мм и определяется величиной протекающего тока. Количество типоразмеров – обычно не более трех.

При компоновке плат стандарта ЕВРОМЕХАНИКА следует ориентироваться на применение для внешнего соединения разъема СНП 59, который является аналогом применяемых для европлат разъемов стандарта DIN 41612.

Плоские и опрессованные кабели для внешнего подключения размещаются с одной стороны (стороны установки ЭРЭ) ПП, и шаг расположения отверстий под их распайку – 2,5 мм. Гибкие печатные кабели могут устанавливаться с двух сторон.

Контактные площадки, предназначенные для автоматического контроля, следует располагать в соответствии с рис. 7.28 и выполнять диаметром не менее 2 мм.

При проектировании контактных площадок для внутрисхемного контроля плат с поверхностным монтажом необходимо придерживаться следующих правил:

- местами зондирования должны быть испытательные контактные площадки или межслойные переходы, а не компоненты или их выводы;

- испытательная контактная площадка должна быть покрыта припоем и иметь размеры 1 × 1 мм (не менее);
- рекомендуемый шаг расположения испытательных контактных площадок должен составлять 2,5 мм, но не менее 1,25 мм;
- испытательное зондирование должно проводиться с одной стороны платы;
- расстояние от высокопрофильных компонентов (высотой более 5 мм) до испытательной контактной площадки должно быть не менее 5 мм;
- испытательные контактные площадки должны быть расположены равномерно по площади подложки (платы).

7.14. Трассировка печатных элементов

После размещения ЭРЭ приступают к трассировке, т. е. к прокладке необходимых линий соединений (проводников) между контактными площадками.

Трассировка обычно проходит в два этапа. На первом (как правило, с привлечением автоматизированных средств) осуществляют предварительное соединение выводов всех ЭРЭ (включая входные и выходные КП и КП для контроля качества ПП) в соответствии со связями, предусмотренными электрической принципиальной схемой.

На втором этапе проводится доработка и оптимизация полученного печатного рисунка. Коррекция первоначального варианта топологии необходима по нескольким причинам:

во-первых, применяемые автоматические трассировщики ПП не всегда могут полностью осуществлять прокладку всех цепей (особенно при коэффициенте заполнения по площади, большем 0,75);

во-вторых, ограничения, связанные с трудностью гибкого изменения для различных областей ПП применяемых стратегий трассировки, не позволяют сразу получить оптимальный вариант конструкции;

в-третьих, после анализа электромагнитной совместимости, как правило, требуется корректировка печатного рисунка.

Проводники располагаются на всей площади ПП, кроме зон, запрещенных для их прокладки. К таким зонам относятся:

- зоны направляющих элементов;
- зоны крепежных отверстий;
- зоны полигонов.

Размер зоны направляющих элементов обычно составляет 4–8 мм и зависит от вида и материала самих элементов направляющих, расположенных в блоке кассетной конструкции. Расположение проводников в этих зонах возможно в исключительных случаях и только при применении направляющих из диэлектрического материала (ЭРЭ, монтажные и крепежные отверстия в зонах направляющих элементов не располагаются).

В случае применения диэлектрических изолирующих шайб размер этих зон может быть уменьшен до минимально возможного (1 мм от края крепежного отверстия). При используемых напряжениях от 20 до 250 В зоны крепежных элементов должны выбираться с учетом обеспечения минимального промежутка размером 3 мм при отсутствии изоляционных покрытий.

Полигоны – это участки поверхности ПП (расположенные с одной или двух сторон платы), где по каким-либо соображениям запрещено прокладывать проводники. Обычно полигоны имеют сплошную металлизацию, однако при механических способах формирования печатного рисунка (гравирование) к полигонам относятся участки поверхности, где должна быть полностью снята фольга.

Кроме полигонов при настройке программ-трассировщиков выделяют *регионы* – участки поверхности ПП, где установлены определенные правила в расположении проводников, в отличие от других мест. К ним, например, могут быть отнесены ранее разработанные топологические рисунки отдельных каскадов и ФУ, внедряемые в разрабатываемую конструкцию ПП. При механическом способе формирования рисунка к полигонам относят участки платы, где должна быть полностью снята фольга.

Обычно придерживаются следующей очередности в прокладке цепей:

- цепи питания;
- земли;
- сигнальные цепи;
- остальные цепи.

При наличии входных высокочастотных цепей их прокладывают в первую очередь и делают максимально короткими.

Для уменьшения паразитных связей в ДПП шины питания и заземления необходимо располагать со стороны установки ЭРЭ, а сигнальные цепи – с обратной стороны ПП. Следует отметить, что заземляющие цепи должны быть разделены для цифровой части схемы, аналоговой части и устройств питания и их топологическое построение не должно быть последовательным (рис. 7.29).

Рис. 7.29. Пример расположения земляных проводников

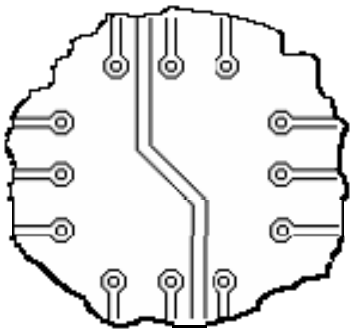


Рис. 7.30. Прокладка проводников перпендикулярно отверстиям

Печатные проводники на печатной плате располагают:

- равномерно по площади платы;
- во взаимно перпендикулярных направлениях в разных слоях ПП (параллельно линиям координатной сетки);
- параллельно направлению движения при пайке волной припоя. Угол между направлением движения и осью проводника не должен превышать 30 °С;
- печатный проводник, проходящий между двумя КП, следует располагать так, чтобы его ось была перпендикулярна линии, соединяющей центры отверстий (рис. 7.30);
- для рационального формирования токопроводящего рисунка целесообразно печатные проводники и контактные площадки выполнять без резких перегибов и острых углов, так как это затрудняет технологию изготовления (печать, травление, пайку), а также приводит к концентрации механических напряжений при нагревании (вследствие разницы ТКЛР фольги и основания) и отслаиванию проводников;
- если длина проводника более 70 мм, то целесообразно предусмотреть дополнительные КП (или металлизированные отверстия) для более надежного сцепления печатных проводников с основанием.

Допускается прокладка проводников под углом 45 °С для уменьшения длины проводника и снижения напряжений в углах при перегибе проводников.

Запрещается прокладка проводников под корпусами навесных элементов, когда между ними существует разность потенциалов. В противном случае увеличивается возможность коррозионного разрушения печатного проводника.

Переход проводника с одной стороны на другую должен осуществляться только через отверстия. Переходы через край недопустимы. Исключение составляют:

- платы ВЧ- и СВЧ-диапазонов, в которых соединяются между собой заземляющие слои, расположенные на разных сторонах платы;

- платы, предназначенные для автоматической установки элементов, в которых слой металлизации по всему периметру располагается с целью предохранения изоляционного основания от механических повреждений.

Печатные проводники, как правило, выполняются одинаковой ширины на всем их протяжении. До минимально допустимых значений проводники могут быть сужены на небольшой длине в узких местах и в местах перекрестий проводников различных слоев. Ширина печатных проводников, с учетом протекающих токов, может быть различной, однако количество их типоразмеров стараются делать минимальным.

Рекомендуется не размещать проводники на минимально допустимом расстоянии от других печатных элементов. Расстояние от проводника до края платы (края выреза) должно быть не менее толщины платы с учетом допуска на габаритные размеры и позиционного допуска расположения печатного элемента, но не менее 1 мм.

В широких проводниках и экранах (шире 5 мм) необходимо делать перфорацию (рис. 7.31) во избежание вспучивания фольги из-за газовыделения при пайке (для плат ВЧ- и СВЧ-диапазонов вырезы допускается не делать).

Форма выреза может быть любой: овал (рис. 7.31, *а*, *б*), круг (рис. 7.31, *в*), прямоугольник (рис. 7.31, *г*) или сетка. Размеры выреза определяются следующим образом: чтобы вырез не был излучающим элементом, его наибольший размер не должен составлять более 1/8 длины волны; при максимальном размере (не более 1/20) экранирующий эффект уменьшается незначительно; для качественного экранирования максимальный размер не должен превышать 1/50. С другой стороны, минимальный размер выреза в экране определяется выбранным классом точности. Площадь вырезов обычно составляет 30–50 % от площади экрана.

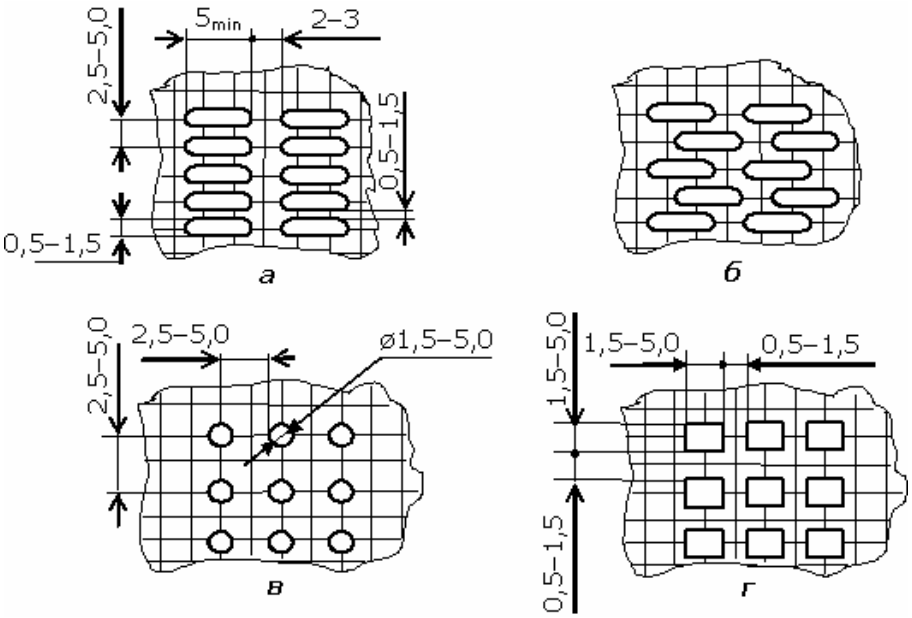


Рис. 7.31. Форма вырезов в экране: *а*, *б* – овал; *в* – круг; *г* – квадрат

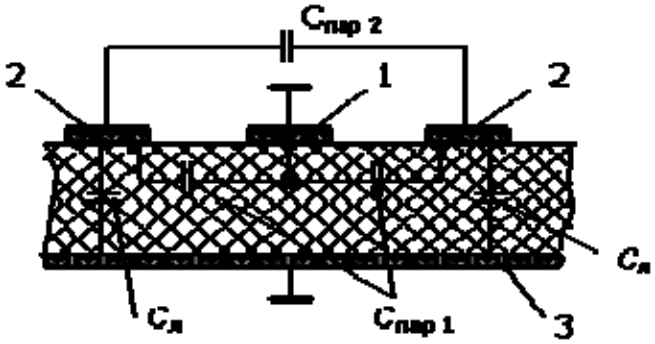


Рис. 7.32. Экранирование печатных проводников (*2*) шиной с нулевым потенциалом (*1*), экранирующей поверхностью (*3*): $C_л$ – емкость линии; $C_{пар\ 1}$ – емкость между экранирующим и основным проводником; $C_{пар\ 2}$ – емкость между основными проводниками

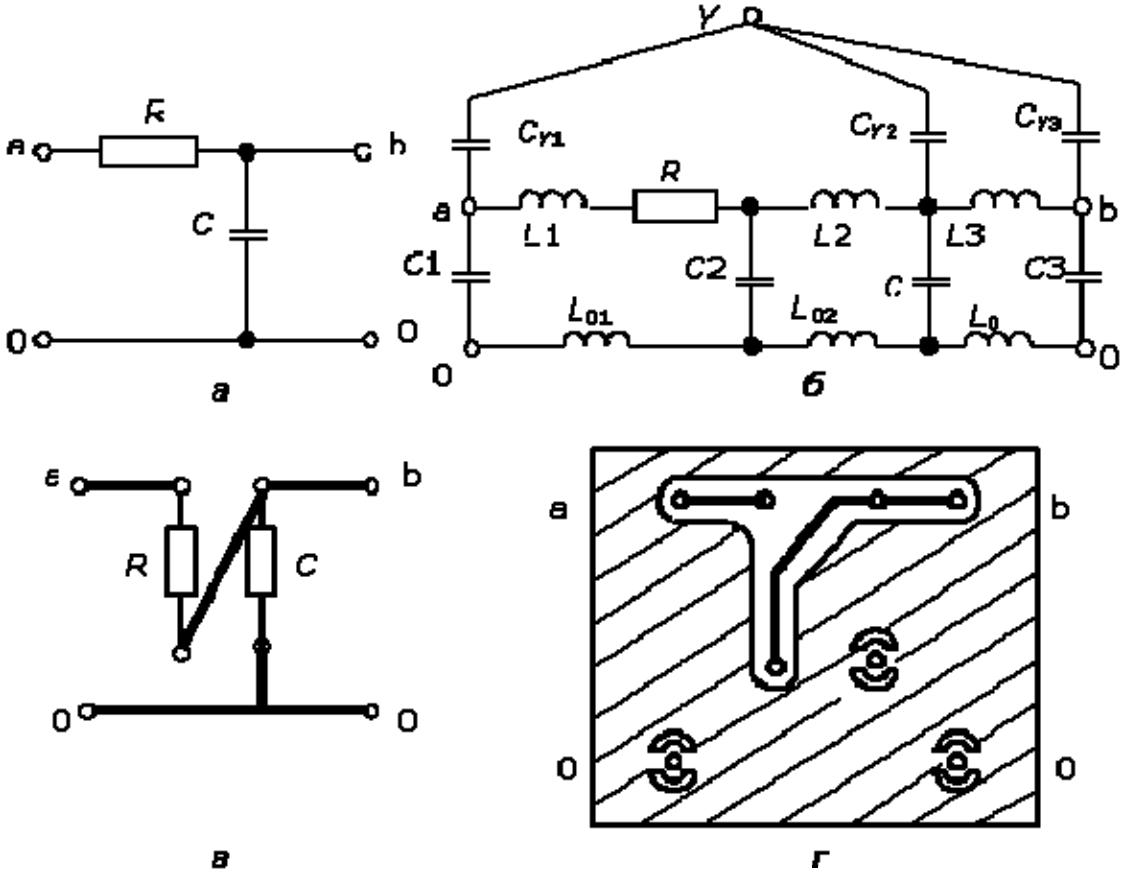


Рис. 7.33. Примеры нейтрализации паразитных элементов печатного монтажа: *а* – схема электрическая; *б* – эквивалентная схема; *в* – «разомкнутая» топология; *г* – «замкнутая» топология

Прокладка рядом с входными выходных проводников одного каскада не рекомендуется во избежание возникновения паразитных связей. Проводники входных и выходных цепей, связанные в систему для подсоединения к краевому разъему, целесообразно разделить экранирующими проводниками или шинами с нулевым потенциалом (рис. 7.32); введение экранирующей

плоскости увеличивает емкость линии, а введение плоскости с нулевым потенциалом уменьшает. В любом случае коэффициент связи между проводниками уменьшается.

Качество экранирования тем выше, чем ближе экран расположен к проводнику, чем он шире и чем у́же проводник.

В общем случае топологию рисунка необходимо строить таким образом, чтобы снижать паразитные электрические параметры (паразитную емкость между рядом лежащими проводниками или проводником и экранным слоем, их взаимную индуктивность, индуктивность сигнальных проводников и т. д.). Это достигается максимально возможным уменьшением размеров приемных и передающих элементов печатного рисунка (проводников и контактных площадок), соблюдением заданных (расчетных) расстояний между этими элементами и встраиванием между этими цепями малочувствительных и нейтральных цепей (рис. 7.32).

На рис. 7.33 показано, как разработчик ПП может влиять на паразитные па-раметры схемы, внося определенные изменения в топологический рисунок ПП.

Для грамотного проведения анализа паразитных связей, возникающих при конструктивной реализации изделия, схемы электрические принципиальные (рис. 7.33, *а*) необходимо преобразовывать в эквивалентные.

На эквивалентной схеме рис. 7.33, *б* показаны паразитные емкости и индуктивности: C_{y1}, C_{y2}, C_{y3} – распределенные емкости по отношению к соседнему источнику сигнала Y; C_1, C_2, C_3 – распределенные емкости относительно заземления; L_1, L_2, L_3 и L_{01}, L_{02}, L_{03} – распределенные индуктивности сигнальной и заземляющей шин соответственно. Если рисунок платы является «разомкнутым» (рис. 7.33, *в*), то преобладают паразитные параметры C_{y1}, C_{y2}, C_{y3}, L_1, L_2, L_3, L_{01}, L_{02}, L_{03}. В «замкнутом» и менее чувствительном варианте (рис. 7.33, *г*) емкости C_1, C_2, C_3 являются преобладающими, в то время как C_{y1}, C_{y2}, C_{y3}, L_1, L_2, L_3, L_{01}, L_{02}, L_{03} существенно малы.

Как правило, введение экранов применяется для ПП высокочастотных, высокочувствительных и измерительных устройств, так как расположение на плате участков с большой металлизацией поверхности обладает рядом недостатков, а именно: увеличенный расход меди (при гальваническом наращивании) и защитных металлических покрытий; усложнение топологии трафаретов; затрудненность в применении групповых методов пайки; несколько увеличенный вес ПП; кроме этого возможно увеличение паразитных наводок при использовании экрана в качестве «возвратного» земляного проводника.

Таким образом, экраны должны применяться только тогда, когда другими способами (рациональной компоновкой ЭРЭ, оптимизацией топологического рисунка проводников и т. п.) нельзя удовлетворить требования по электромагнитной совместимости.

Контрольные вопросы

1. Как устанавливаются ЭРЭ при монтаже на ПП?
2. Как следует размещать функциональные узлы на ПП?
3. Что необходимо учитывать при размещении ЭРЭ на ПП?
4. Перечислите, какие существуют варианты установок на ПП?
5. По каким правилам располагаются центры отверстий под выводы?
6. Каких правил необходимо придерживаться при проектировании контактных площадок для внутрисхемного контроля плат с поверхностным монтажом?
7. Какие зоны относятся к запрещенным для прокладки проводников, располагающихся на всей площади ПП?
8. Как необходимо располагать печатные проводники на печатной плате?
9. В каких случаях запрещается прокладка проводников под корпусами навесных элементов и что при этом может произойти?
10. Как происходит экранирование печатных проводников?

8. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Лекция 24

П л а н л е к ц и и

8.1. Области применения и основные характеристики волоконно-оптических линий связи.
8.2. Компоненты волоконно-оптических систем передачи.
8.3. Оптические кабели.
8.3.1. Классификация оптических кабелей.
8.3.2. Основные конструктивные элементы оптических кабелей.
8.3.3. Технические требования к оптическим кабелям.

Л и т е р а т у р а: [4, 27, 31].

8.1. Области применения и основные характеристики волоконно-оптических линий связи

Волоконно-оптические линии связи – это вид связи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием «оптическое волокно».

Обобщенная структурная схема волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) показана на рис. 8.1. Сообщение в цифровой форме поступает от источника на преобразователь, где формируется первичный электрический сигнал в цифровой форме. В кодере осуществляется избыточное кодирование, необходимое для обеспечения требуемой помехоустойчивости. Далее электрическим сигналом осуществляется модуляция оптического излучения, генерируемого источником (лазером или светоизлучающим диодом).

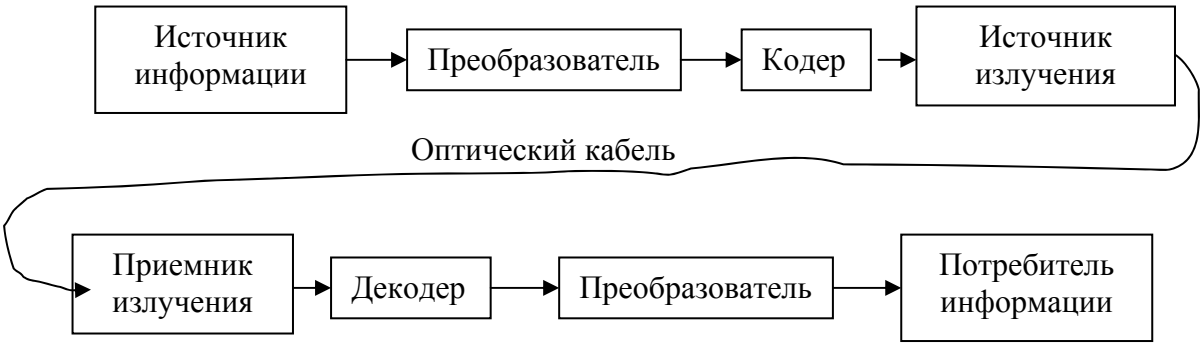


Рис. 8.1. Обобщенная структурная схема ВОЛС

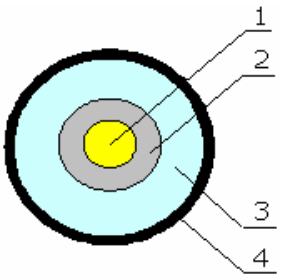


Рис. 8.2. Структура оптического волокна: *1* – сердцевина; *2* – оболочка; *3* – внутренний слой защитного покрытия; *4* – наружный слой защитного покрытия

Передача сигнала осуществляется по оптическому кабелю (ОК), основой которого является оптическое волокно (ОВ) (рис. 8.2). С помощью демодулятора оптический сигнал преобразуется в электрический. В декодере осуществляется восстановление первичного (модулирующего) сигнала, который с помощью преобразователя приобретает необходимую для информации форму (текст, звук, изображение и т. д.).

Основными преимуществами применяемых волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) являются:

- электромагнитная совместимость;
- высокая защищенность от несанкционированного доступа;
- гальваническая развязка элементов сети;
- высокая помехозащищенность;
- широкая полоса пропускания;
- малый вес и габаритные размеры;
- взрыво- и пожаробезопасность;
- длительный срок эксплуатации.

Электромагнитная совместимость. Проблема борьбы с электромагнитными помехами самой различной природы, включая взаимные помехи многочисленных средств связи, является в современных условиях едва ли не самой острой. Обычные системы связи предусматривают весьма сложные и дорогие средства защиты от помех, создаваемых транспортом с электрической тягой, энергетическими, технологическими и другими электроустановками. Использование ВОЛС радикально решает проблему электромагнитной совместимости. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т. д.). В многоволоконных кабелях исключено перекрестное влияние электромагнитного излучения, присущее многопарным медным кабелям.

Защищенность от несанкционированного доступа (скрытность связи). Поскольку волоконно-оптический кабель (ВОК) практически не излу-

чает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно «подслушать», не нарушая приема-передачи. Системы мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить «взламываемый» канал связи и подать сигнал тревоги. Сенсорные системы, использующие интерференционные эффекты распространяемых световых сигналов (как по разным волокнам, так и разной поляризации), имеют очень высокую чувствительность к механическим колебаниям, к небольшим перепадам давления. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.

Гальваническая развязка элементов сети. Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Волокно помогает избежать электрических «земельных» петель, которые могут возникать, когда два сетевых устройства неизолированной вычислительной сети, связанные медным кабелем, имеют заземления в разных точках здания, например на разных этажах. При этом может возникнуть большая разность потенциалов, которая способна повредить сетевое оборудование. Для волокна этой проблемы просто нет.

Высокая помехозащищенность. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т. д.).

Широкая полоса пропускания обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 1014 ГГц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания – это одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна перед традиционными медными проводниками.

Малые габаритные размеры и масса оптических кабелей. Волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность (например, 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см может быть заменен одним волокном диаметром 0,1 см).

Использование ВОК:

- неизмеримо упрощает прокладку магистральных и зоновых линий связи;
- исключает привлечение тяжелой машинной техники, необходимой для земляных и строительных работ при подготовке трасс, для транспортировки и укладки тяжелых кабелей;

- дает возможность оперативного развертывания кабельных линий с большой пропускной способностью, в том числе в труднодоступной местности, с преодолением водных и иных преград.

Взрыво- и пожаробезопасность. Отсутствие явлений искрения при обрывах, коротких замыканиях, ненадежных контактах позволяет обеспечить полную безопасность использования ВОЛС во взрывоопасных и пожароопасных помещениях. Кроме того, при работе персонала с действующим кабелем исключена опасность поражения электрическими разрядами. Можно добавить, что и для оконечной аппаратуры не возникает аварийных режимов, которые нередко наблюдаются при коротких замыканиях и обрывах в обычной аппаратуре электросвязи.

Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот процесс значительно замедлен, и срок службы ВОК составляет примерно 25 лет. За это время может смениться несколько поколений стандартов приемопередающих систем.

Стоимость интерфейсного оборудования. Электрические сигналы должны преобразовываться в оптические и наоборот. Цена на оптические преобразователи пока остается довольно высокой.

Монтаж и обслуживание оптических линий. Стоимость работ по монтажу, тестированию и поддержке волоконно-оптических линий связи также остается высокой.

При повреждении ВОК необходимо осуществлять сварку волокон в месте разрыва и защищать этот участок кабеля от воздействия внешней среды.

Требование специальной защиты волокна. Стекло как материал выдерживает колоссальные нагрузки с пределом прочности на разрыв выше 1 ГПа. Это, казалось бы, означает, что волокно (в единичном количестве) диаметром 125 мкм выдержит вес гири в 1 кг. Однако на практике это не достигается. Причина в том, что оптическое волокно, каким бы совершенным оно ни было, имеет микротрещины, которые инициируют разрыв. Для повышения надежности оптическое волокно при изготовлении покрывается специальным лаком на основе эпоксиакрилата, а сам оптический кабель упрочняется, например нитями на основе кевлара. Если требуется удовлетворить еще более жесткие условия на разрыв, кабель можно упрочнить специальным стальным тросом или стеклопластиковыми стержнями. Но все это влечет увеличение стоимости оптического кабеля.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, волоконно-оптические системы имеют и *недостатки*, а именно высокую стоимость прецизионного монтажного оборудования и относительную надежность лазерных источников излучения.

8.2. Компоненты волоконно-оптических систем передачи

На рис. 8.3 представлена обобщенная классификация компонентов ВОЛС. Передающие оптоэлектронные модули, выполненные в едином конструктивном блоке, включают в себя источник излучения, электронные схемы для стабилизации режимов работы, оптический соединитель или отрезок оптического кабеля.

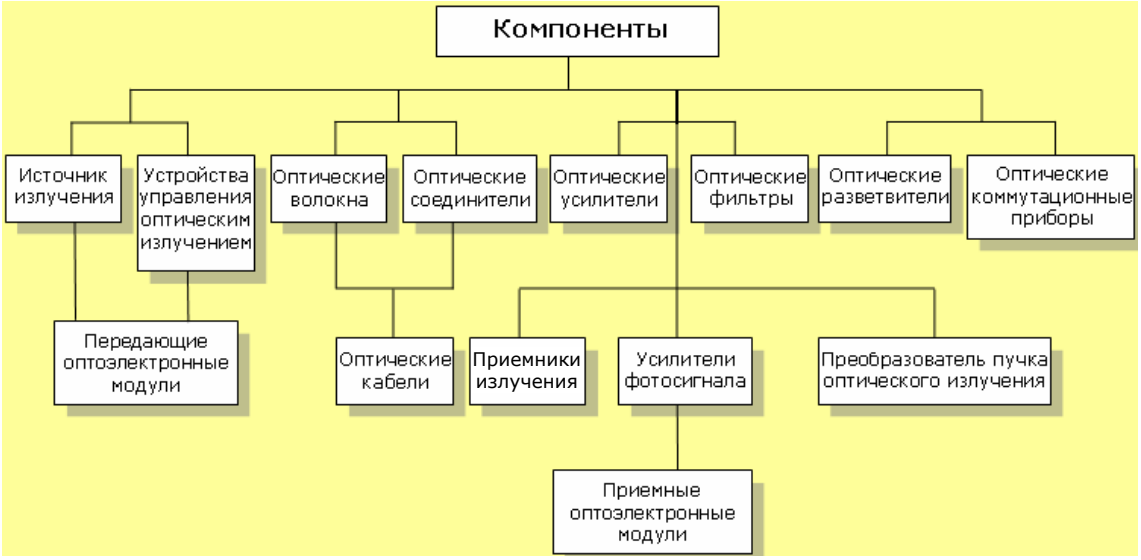


Рис. 8.3. Обобщенная классификация компонентов ВОЛС

Приемные оптоэлектронные модули содержат фотоприемное устройство, электронные схемы обработки электрического сигнала и стабилизации режимов работы, а также оптический соединитель или отрезок оптического кабеля.

8.3. Оптические кабели

Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Основания так считать вытекают из ряда особенностей, присущих оптическим волноводам.

8.3.1. Классификация оптических кабелей

По назначению оптические кабели (ОК) в отличие от электрических кабелей достаточно классифицировать на две основные группы:

- *линейные* – для прокладки вне зданий (для наружной прокладки и эксплуатации);

- *внутриобъектовые* – для прокладки внутри зданий (для внутренней прокладки и эксплуатации).

Линейные ОК подразделяются на *магистральные*, *зоновые*, *городские* и *сельские*, т. е. по принципу их принадлежности к магистральной, зоновым или местным сетям связи. Однако современные одномодовые оптические волокна (ОВ), выполняющие в ОК роль среды передачи, имеют малое затухание, слабую частотную зависимость и не являются ограничивающим фактором применения линейных ОК на сетях связи (магистральной, зоновых или местных).

Классификация оптических кабелей по назначению, условиям и вариантам применения представлена на рис. 8.4. Предложенная классификация ОК определяется техническими требованиями к ОК с учетом их назначения, условий и вариантов применения на Взаимоувязанной сети связи (ВСС) России.

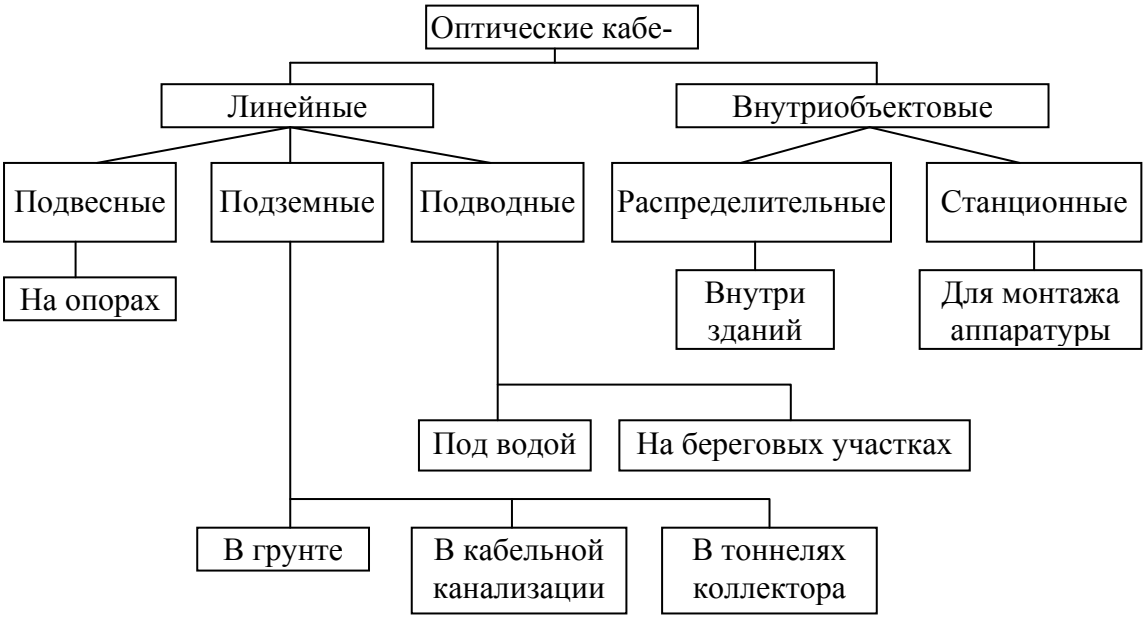


Рис. 8.4. Классификация оптических кабелей

Определяющим фактором применения линейных ОК на сетях связи являются условия их прокладки и эксплуатации. Оптические кабели позволяют создавать сети во всех средах: на суше, в воде и воздухе. С учетом этого линейные ОК можно классифицировать на три группы:

- подземные;
- подвесные;
- подводные.

Внутриобъектовые ОК по условиям применения можно классифицировать на две группы:

- распределительные;
- станционные (монтажные).

Условия прокладки и эксплуатации ОК в одной и той же среде далеко не одинаковы, поэтому целесообразно классифицировать ОК и по вариантам их применения.

8.3.2. Основные конструктивные элементы оптических кабелей

В оптических кабелях, представляющих собой сложную оптико-физическую систему, в качестве направляющей среды передачи применяется кварцевое оптическое волокно (ОВ). Специфичность оптического волокна заключается не только в особенностях распространения по нему информационных сигналов, но и в конструкции самого ОВ, критичности ОВ к механическим нагрузкам (усилиям растяжения и сдавливания, изгибам, кручению и ударам), чувствительности ОВ к таким факторам, как перепады температур, химическое воздействие, влияние влаги и водорода. Параметры эластичности и механизмы отказа у оптического волокна и медных жил электрических кабелей различны.

Основные воздействующие факторы, которым должны противостоять оптические кабели различного назначения и для различных условий прокладки, приведены в табл. 8.1. По существу, эти воздействующие факторы и определяют особенности конструкций ОК различного назначения и использование в них конструктивных элементов, обеспечивающих прокладку и эксплуатацию ОК в заданных интервалах воздействия внешних факторов.

Основные конструктивные элементы ОК:

- оптическое волокно;
- оптические модули;
- оптические сердечники;
- силовые элементы;
- гидрофобные материалы;
- броня;
- оболочка.

Таблица 8.1

Основные факторы, воздействующие на ОК

Условия эксплуатации	Факторы		
	механические	климатические	электромагнитные
Подземные	Растягивающие и раздавливающие нагрузки: средние – в легких грунтах, тоннелях, коллекторах; значительные – в остальных грунтах; очень значительные – в вечномерзлых грунтах; меньше средних – в кабельной канализации. Изгибы, кручения, удары, вибрация. Воздействие грызунов	Циклическая смена температур в диапазоне рабочих температур. Повышенная относительная влажность. Повышенное атмосферное давление. Плесневые грибы. Влага и вода. Химическое воздействие	Импульсный ток молнии. Индуктированное напряжение от источников высокого напряжения
Подвесные	Растягивающие и раздавливающие нагрузки: средние – при подвеске на опорах высоковольтных и низковольтных ЛЭП, железных дорог; значительные – при подве-ске на опорах высоковольтных ЛЭП. Вибрация. Пляска проводов. Ветер	Циклическая смена температур в более значительном диапазоне рабочих температур. Атмосферные осадки (дождь, снег, иней). Воздействие прямого солнечного излучения. Соляной туман. Химическое воздействие	Импульсный ток молнии. Термическое воздействие тока
Подводные	Растягивающие и раздавливающие нагрузки – очень значительные. Высокое избыточное гидростатическое давление	Прямое длительное воздействие воды. Циклическая смена температур в диапазоне рабочих температур (мень-ше, чем для подземных)	–
Распределительные и стационарные	Растягивающие и раздавливающие нагрузки: близкие к средним – для распределительных; очень незначительные – для стационарных. Изгибы и удары	Прямое воздействие огня при пожарах. Циклическая смена температур в диапазоне рабочих температур (мень-ше, чем для подземных)	–

Отдельные элементы могут отсутствовать, в зависимости от назначения и условий применения ОК.

Оптическое волокно – основной конструктивный элемент ОК, выполняющий роль направляющей среды передачи излучения.

Оптический модуль (*ОМ*) – самостоятельный конструктивный элемент оптического кабеля, содержащий одно и более ОВ. Оптический модуль выполняет функции защитного элемента, уменьшает опасность обрыва ОВ и

обеспечивает стабильность его работы при воздействии продольных и поперечных сил.

Оптические модули могут быть следующих типов:

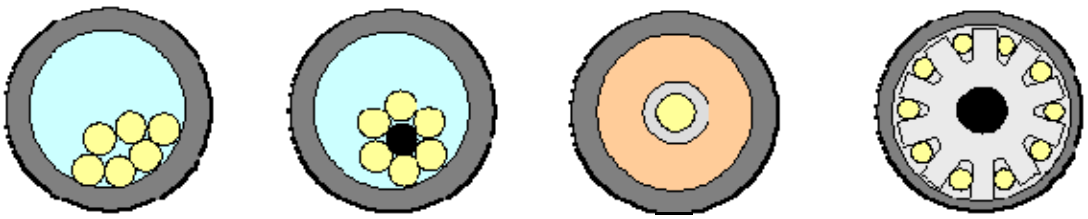
- трубчатые;
- профилированные;
- ленточные.

В трубчатом ОМ оптические волокна могут свободно укладываться либо без скрутки (рис. 8.5, *а*), либо путем скрутки вокруг центрального силового элемента (рис. 8.5, *б*) либо размещаться в плотном буферном покрытии (рис. 8.5, *в*). Плотный буферный слой увеличивает сопротивляемость ОВ к сжатию и изгибам.

В профилированном ОМ в спиралеобразных пазах *V*-образного типа, образуемых в полимерном стержне, ОВ (одно или несколько) свободно укладывается по спирали. Силовой элемент в центре профилированного стержня обеспечивает необходимые механические параметры и стойкость к температурным изменениям (рис. 8.5, *г*).

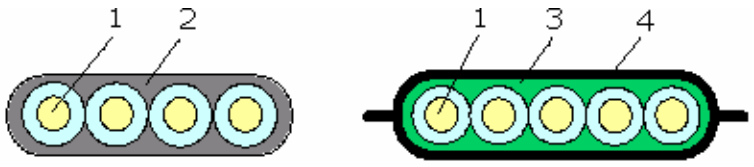
В ленточном ОМ оптические волокна (два и более) размещаются в линейный ряд, образуя линейный элемент. Фиксация ОВ в линейном элементе может осуществляться с помощью полимерного материала по длине элемента, выполняющего функцию вторичного защитного покрытия (рис. 8.6, *а*), или адгезивного слоя и наложенных поверх синтетических лент (рис. 8.56, *б*).

Из оптических модулей ленточного типа может создаваться матрица (единичный блок) с определенным числом ОВ, которая затем размещается либо в полимерной трубке, либо в пазах спиралеобразного профилированного элемента (стержня).



а б в г

Рис. 8.5. Примеры конструкций оптических модулей: *а–в* – трубчатых; *г* – профилированного: *1* – трубка; *2* – воздух или гидрофобный компаунд; *3* – ОВ в защитном покрытии; *4* – ЦСЭ; *5* – лента; *6* – стержень профилированного типа со спиралеобразными *V*-образными пазами; *7* – плотный буферный слой



а б

Рис. 8.6. Примеры конструкций ленточного оптического модуля: *а* – с полимерным защитным материалом; *б* – с дополнительным защитным покрытием из адгезивного слоя и синтетических лент: *1* – ОВ в защитном покрытии; *2* – полимерный материал; *3* – адгезивный слой; *4* – синтетическая лента

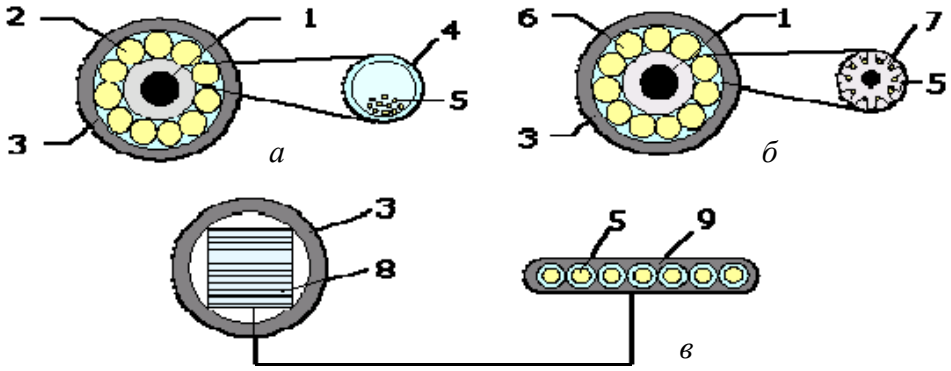


Рис. 8.7. Примеры конструкций оптических сердечников подземных и подвесных ОК из ОМ различного типа: *а* – трубчатого; *б* – профилированного; *в* – ленточного; *1* – центральный силовой элемент; *2* – оптический модуль трубчатого типа; *3* – защитное покрытие (трубка, скрепляющие полимерные ленты и т. п.); *4* – полимерная трубка; *5* – оптические волокна в защитном покрытии; *6* – оптический модуль профилированного типа; *7* – стержень профилированного типа; *8* – единичный блок (матрица) из ленточных ОМ; *9* – ленточный оптический модуль

Оптический сердечник ОК формируется либо из одного ОМ, расположенного, как правило, в центре, либо из нескольких ОМ или пучков ОМ, скрученных вокруг центрального силового элемента. В первом случае оптический сердечник следует рассматривать как одномодульную конструкцию, во втором – как многомодульную.

Оптический сердечник повышает механическую прочность ОК, защищает ОВ от изгибов и нагрузок на растяжение и сдавливание в пределах, не оказывающих влияние на передаточные параметры. Центральный силовой элемент выполняет основную функциональную нагрузку.

Оптические сердечники могут содержать дополнительные элементы: элементы заполнения, не содержащие ОВ (кордели), медные жилы, па́ры или четверки из медных жил. Обычно повив оптического сердечника из элементов скрепляется нитями или скрепляющей лентой. Конструкция оптического сердечника (емкость, тип ОМ и его место в сердечнике, медные жилы, па́ры и четверки из медных жил, элементы заполнения) определяется функциональным назначением и условиями применения ОК.

Примеры конструкций оптических сердечников ОК, образованных из ОМ различного типа, для подвески или прокладки в грунте и внутри зданий приведены на рис. 8.7.

Силовые элементы обеспечивают требуемую механическую прочность ОК и величину деформации ОВ в заданных пределах. При выборе материалов для силовых элементов учитывают следующие факторы: модуль Юнга, соотношение механической прочности и массы, стабильность параметров во времени и в пределах заданных изменений температур, стойкость к коррозии, возможность прокладки и монтажа, а также условия работы ОК.

В качестве материалов для силовых элементов могут применяться стальная, медная и алюминиевая проволоки, а также арамидные нити и стеклопластиковые стержни, параметры которых приведены в табл. 8.2, где значение *n* коэффициента применимости материала для силового элемента соответствует лучшим свойствам материала.

Силовые элементы, размещенные в центре ОК, обеспечивают бóльшую гибкость, а на периферии – большую стойкость ОК к ударам и растягивающим нагрузкам.

Гидрофобные материалы препятствуют проникновению влаги в ОК, увеличивая срок службы ОВ. Свободное пространство в модулях, пазах, а также между оптическими модулями и силовыми элементами заполняется гидрофобным компаундом.

Оболочки ОК защищают оптические сердечники ОК от внешних воздействий и механических повреждений. Тип оболочки выбирают с учетом механической стойкости (к изгибам, кручению, поперечному сжатию, продольному растяжению и др.), стойкости к воздействию окружающей среды (климатическим и химическим воздействиям, нераспространению горения, выделению водорода и др.), физических характеристик материала (диаметр, масса и др.), а также удобства монтажа.

Сравнительные параметры ряда материалов, из которых могут изготавливаться оболочки ОК, приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.2

Параметры материалов для силовых элементов

Параметры	Проволока			Армидные нити	Стеклопластиковые стержни
	стальная	медная	алюминиевая		
Модуль Юнга *E*, кг/мм^2	20000	12000	7000	13000	5000
Удельная плотность ρ, г/см^2	7,8	8,9	2,7	1,4	2,0
Коэффициент применимости $n = aE\rho$ при допустимой величине деформации ОВ (a = 0,002)	35	15	11	25	8,0

Таблица 8.3

Параметры материалов для оболочек ОК

Параметр	ПЭ низкой плотности	ПЭ высокой плотности	Алюмо-полиэти-лен	ПВХ	Полиуретан	Полиамид	Свинец
Механические характеристики							
Растяжение	с	с	х	с	с	х	х
Изгиб	х	х	х	х	х	х	с
Кручение	х	х	х	х	х	х	х
Радиальное сжатие	с	с	х	с	с	х	х
Трение	с	х	с/х	с	х	х	с
Климатические характеристики							
Стойкость к климатическим воздействиям	х	х	х	х	х	х	х
Защита от проникновения влаги	п	п	х	п	п	п	х
Стойкость к химическому воздействию	х	х	х	с	х	х	х
Стойкость к воздействию углерода	п	х	с/х	с	с	х	х
Физические характеристики							
Теплостойкость	с	с	х	с	с	с	х
Малая масса	х	х	х	х	х	х	п
Нераспространение горения	п	п	п	х	п	п	х

П р и м е ч а н и е. ПЭ – полиэтилен; х – хорошее; с – среднее; п – плохое; с/х – среднее/хорошее, в зависимости от наружной оболочки.

8.3.3. Технические требования к оптическим кабелям

В зависимости от условий применения на Взаимоувязанной сети связи России оптические кабели могут содержать основные конструктивные элементы, приведенные на рис. 8.8.

Оптические кабели должны быть рассчитаны на возможность передачи всех видов информации на базе современных и перспективных оптических технологий передачи. Как правило, линейные ОК не должны иметь внутри оптического сердечника металлических элементов, чтобы не возникали дополнительные затраты на защиту от внешних электромагнитных воздействий.

Чтобы не удорожать и не усложнять техническую эксплуатацию конструкции, ОК должны исключать необходимость их содержания под избыточным воздушным давлением. Оболочка ОК должна в течение всего срока службы сохранять герметичность, влагонепроницаемость, электрическую

прочность, стойкость к воздействию соляного тумана, солнечного излучения, стойкость к избыточному гидростатическому давлению, к низким и высоким температурам, обеспечивать нераспространение горения и иметь требуемые механические свойства на растяжение, сдавливание, удары и изгибы.

Броня, применяемая в ОК, должна обладать механическими свойствами, адекватными условиям прокладки и эксплуатации ОК, и сохранять эти свойства в течение всего срока службы ОК, обеспечивать защиту от грызунов.

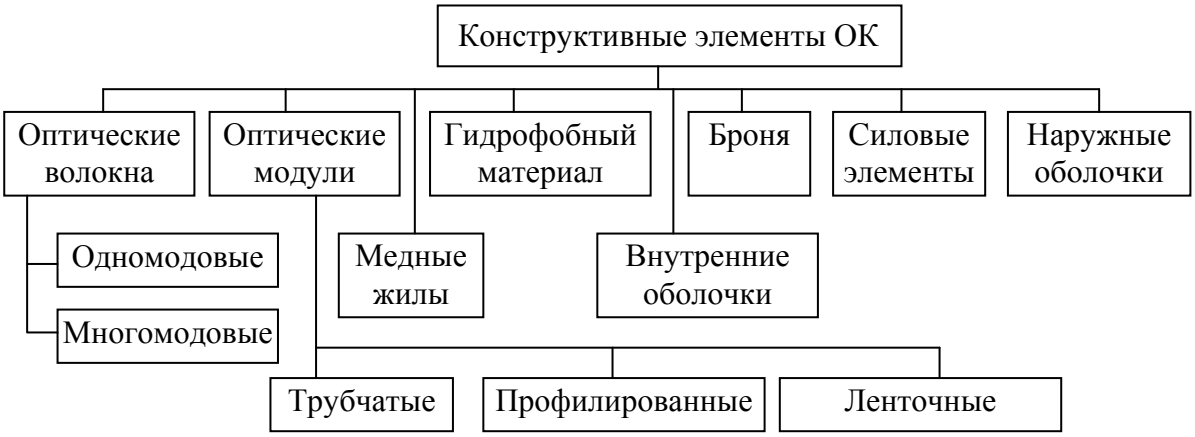


Рис. 8.8. Основные конструктивные элементы оптического кабеля

Таблица 8.4

Коэффициент затухания оптических волокон в оптическом кабеле

Параметр	Многомодовые (градиентные) ОВ	Одномодовые ОВ			
	Рекомендации МСЭ-Т				
	G.651	G.652	G.653	G.654	G.655
Рабочий диапазон длин волн, нм	1300	1260–1360; 1530–1565	1530–1565	1530–1565	1530–1565; 1550–1625
Коэффициент затухания, дБ, не более, на опорной длине волны:					
1300 нм	0,7	–	–	–	–
1310 нм	–	0,35	–	–	–
1550 нм	–	0,22	0,22	0,20	0,22
1625 нм	–	–	–	–	0,25

Таблица 8.5

Электрические параметры оптических кабелей

Параметр	Значение	Объект нормирования
Электрическое сопротивление посто-янному току при 20 °С, Ом/км, не более	160	Жила ДП
Электрическое сопротивление изоляции по-стоянному току, МОм · км, не менее	10000	Между жилами ДП. Между жилами ДП и металлическими элементами
Испытательное напряжение в течение 2 мин, кВ: переменным током постоянным током	 2,5 5,0	Между жилами ДП
Электрическое сопротивление наружной (полиэтиленовой) оболочки постоянному току, МОм · км, не менее	2000	Между металлическими элементами и землей (водой)
Испытательное напряжение наружной (поли-этиленовой) оболочки в течение 5 с, кВ: переменным током частотой 50 Гц постоянным током	 10,0 20,0	Между соединенными вместе ме-таллическими элементами и водой

Оптические кабели должны иметь сертификат соответствия Минсвязи России. Требования к коэффициенту затухания приведены в табл. 8.4. Эти требования являются более жесткими и обусловлены необходимостью создания больших длин регенерационных участков для высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи (ВОСП), стремлением уменьшить затраты как на строительство, эксплуатацию, так и в дальнейшем на реконструкцию линий.

Электрические параметры ОК, представленные в табл. 8.5, относятся к ОК с металлическими элементами внутри сердечника (жилы ДП, металлический центральный силовой элемент) и в наружных покровах (стальные проволоки, стальные ленты и т. п.).

Оптические кабели вне зависимости от условий применения должны выдерживать циклическую смену температур – от низкой до высокой рабочей температуры.

Подвесные ОК должны быть стойкими к воздействию атмосферных осадков, соляного тумана, солнечного излучения (радиации).

Подводные ОК должны выдерживать избыточное гидростатическое давление 70 МПа (при прокладке на береговых и морских участках) и 0,7 МПа (при прокладке на речных переходах и на глубоководных участках водоемов).

Оптические кабели должны иметь защиту от продольного распространения влаги.

Гидрофобный компаунд, заполняющий оптический кабель, *не должен* становиться текучим при температуре до 70 °С, влиять на параметры оптических волокон, легко удаляться при монтаже, быть токсичным и вызывать

коррозию и *должен* быть совместим с другими материалами оптического кабеля.

Оптические кабели, предназначенные для прокладки внутри зданий, в коллекторах и тоннелях, должны иметь наружную оболочку из материала, не распространяющего горение.

Срок службы оптических кабелей должен быть не менее 25 лет. Конструкция ОК должна исключать применение специальных мер безопасности.

Лекция 25

П л а н л е к ц и и

8.4. Оптические волокна.
8.4.1. Распространение сигнала в ОВ.
8.4.2. Типы оптических волокон.
Л и т е р а т у р а: [4, 27, 31

8.4. Оптические волокна

8.4.1. Распространение сигнала в ОВ

Основой ВОЛП является световод (рис. 8.9), представляющий собой двухслойную конструкцию, состоящую из проводящей среды (сердцевины) и оболочки, имеющих разные показатели коэффициентов преломления.

Передача светового сигнала происходит в результате преломления и многократного полного отражения энергии сигнала при переходе из среды с одним коэффициентом преломления в среду с другим коэффициентом преломления.

Электромагнитная волна $S_{пад}$, падая на границу двух диэлектрических сред под углом $\theta_{пад}$, частично отражается ($S_{отр}$) от границы раздела под углом $\theta_{отр}$ и частично преломляется ($S_{пр}$) под углом $\theta_{пр}$ (рис. 8.9, *а*). При этом соблюдается соотношение $n_1 \sin \theta_{пад} = n_2 \sin \theta_{пр}$, где n_1, n_2 – коэффициенты преломления соответственно сердцевины и оболочки.

Угол $\theta_{пр}$ с увеличением угла $\theta_{пад}$ возрастает и при $\theta_{пад} = \theta_o$ становится равным 90°, а преломленный световой сигнал скользит вдоль границы раздела сред (рис. 8.9, *б*). При всех значениях $\theta_{пад} > 0$ преломленная волна будет отсутствовать. Угол $\theta_o = \arcsin (n_1/n_2)$, при котором световая энергия зигзагообразно распространяется по сердцевине световода (рис. 8.9, *в*), называют *углом полного внутреннего отражения*.

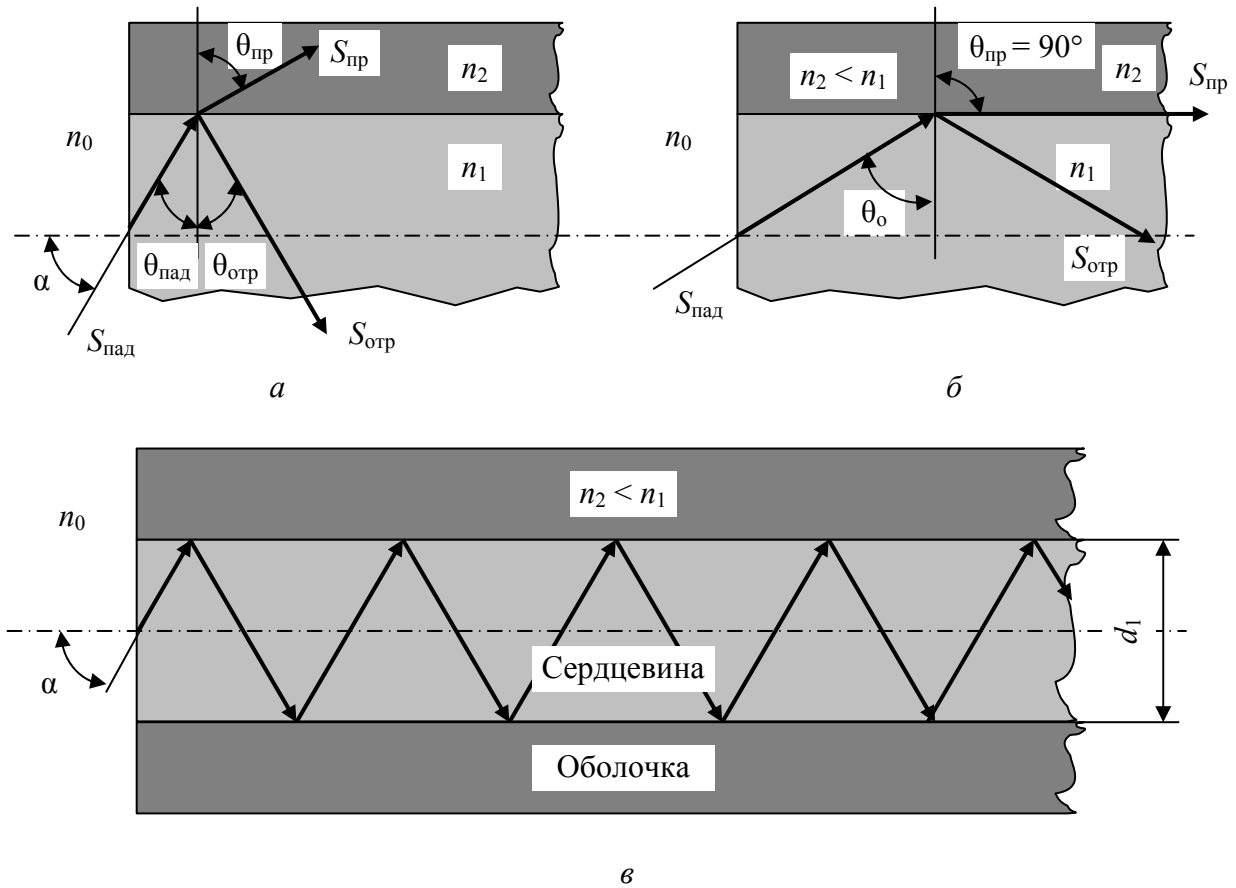


Рис. 8.9. Схема распределения и траектория распространения оптического сигнала в световоде

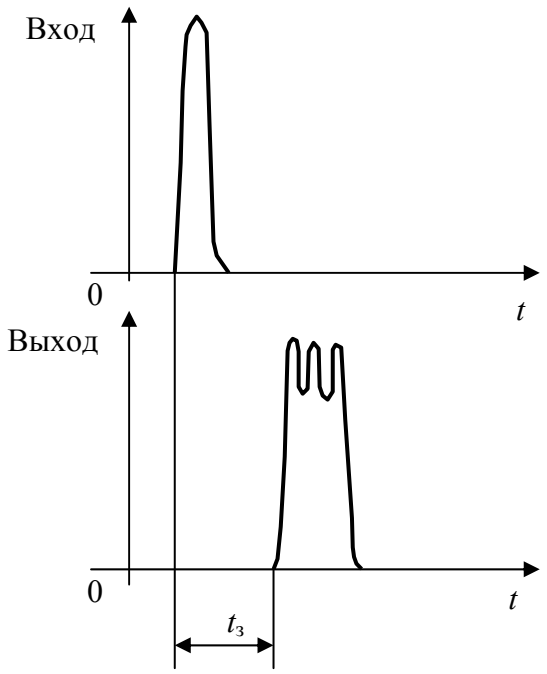


Рис. 8.10. Задержка и искажение сигнала на выходе световода

Угол полного внутреннего отражения определяет условие падения светового сигнала на торец световода. Если на торец световода из окружающей среды с коэффициентом преломления n_0 падает сигнал под углом α с коэффициентом преломления n_1 к оси сердцевины, то при определенном угле падения

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\cos\theta_{max}\right)$$

сигнал будет полностью отражаться от границы раздела сред «сердцевина – среда». Для воздушной среды (n_0 = 1) получим $\sin\alpha_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Угол α_{max} между оптической осью и одной из образующих светового конуса, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения, называется *апертурой*. Большая апертура позволяет воспринимать и передавать максимум энергии от источника с большим углом излучения светового потока. Однако при α_{max} появятся искажения, так как часть световой энергии передается по сердцевине, часть – по оболочке и некоторая часть окажется в окружающем пространстве. Это приводит к расширению и некоторому ослаблению выходного сигнала световода (рис. 8.10). Кроме того, сигнал на выходе оказывается задержанным на величину $t_з$ за счет конечного времени прохождения по световоду.

Между углом полного внутреннего отражения θ_o и апертурным углом падения луча α_{max} существует взаимосвязь: чем больше θ_o, тем меньше α_{max}. Поэтому необходимо стремиться, чтобы угол входа луча в световод укладывался в апертурный угол α_{max}, а угол падения луча на границу «сердцевина – среда» был больше угла полного внутреннего отражения.

Длина волны λ передаваемого по световоду сигнала связана с диаметром сердцевины выражением $\lambda = d\cos\theta_{пад}$. Учитывая $\cos\theta_{пад} = \sqrt{1-\sin^2\theta_{пад}}$ и $\sin\theta_{пад}\ n_1/n_2$, получим

$$\lambda_{кр} = d\sqrt{1-\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2},$$

$$f_{кр} = \frac{c}{\lambda_{кр}},$$

где $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны; d – ширина сердцевины световода; $f_{кр}$ – частота передаваемого по световоду сигнала; c – скорость света.

При $\lambda_{кр}$ имеет место *режим стоячей волны*: когда энергия рассеивается в окружающее пространство и по световоду не передается. При частотах вы-

ше критических энергия поля концентрируется внутри сердцевины и эффективно передается по световоду. Таким образом, в световоде могут распространяться лишь сигналы с длиной волны $\lambda < d$, а световоды ведут себя как высокочастотные фильтры.

8.4.2. Типы оптических волокон

Оптические волокна делятся на два типа: *многомодовые* и *одномодовые*. Первые имеют более толстую сердцевину (светонесущую жилу) с типовым диаметром 50 или 62,5 мкм, сердцевина вторых – от 2 до 10 мкм (для сравнения: диаметр обычного человеческого волоса – 140 мкм).

Многомодовыми волокна называют потому, что их диаметр значительно больше длины волны, а значит, в них распространяется множество различных типов световых лучей – *мод*. В отличие от одномодовых многомодовые кабели предназначены для использования на более коротких расстояниях. Причина этого – *дисперсия*, т. е. уширение световых импульсов. После прохождения фотонами некоторого расстояния импульсы «расплываются» до такой степени, что приемник уже не в состоянии отличить уровень логической единицы от нуля.

По одномодовому кабелю сигналы способны передаваться на сотни и даже тысячи километров, в зависимости от типа источника излучения, длины волны и скорости передачи данных. Поскольку визуально отличить многомодовое волокно от одномодового практически невозможно, многомодовые кабели обычно имеют оранжевую оболочку, а одномодовые – желтую.

В оптической связи используются два типа источников: *светодиоды* и *лазеры*. Первые применяются только с многомодовыми кабелями, вторые – чаще всего с одномодовыми. Светодиоды не могут работать с одномодовыми кабелями, так как их излучение недостаточно когерентно.

По медным линиям связи данные передаются в виде последовательностей импульсов, соответствующих нулевым и единичным битам. Оптоволокно работает аналогичным образом, но импульсы образуются включением и выключением источника света. Если говорить точнее, то при низких скоростях передачи модулируется управляющий ток (лазеры с внутренней модуляцией), а при высоких – сам оптический сигнал (лазеры с внешней модуляцией). Чем чаще пульсация излучения, тем больше данных можно переслать по оптоволокну.

Существует предельная скорость, с которой лазер может включаться и выключаться, все еще генерируя столько фотонов, сколько необходимо для того, чтобы мощность на другом конце кабеля была достаточной для принимающей аппаратуры. По этой причине в высокоскоростных оптоволоконных соединениях для передачи данных используется несколько длин волн – *спектральных каналов*.

По одному медному кабелю тоже может передаваться несколько различных потоков данных за счет деления его полосы пропускания на каналы. Каждому каналу разрешается пересылать данные в течение определенного промежутка времени, и таким образом все каналы по очереди получают воз-

можность отправить свои данные. Этот метод называется *временным уплотнением* – Time Division Multiplexing (TDM). Существует также *частотное уплотнение* – Frequency Division Multiplexing (FDM): когда каждый канал занимает определенную ему полосу частот. Примером применения FDM-систем является радио- и телевизионное вещание.

Многомодовое волокно. Существует два варианта многомодовых волокон: *со ступенчатым* и *градиентным профилем показателя преломления сердцевины*.

В многомодовом волокне со ступенчатым профилем показателя преломления одновременно распространяется большое число мод, введенных в волокно под разными углами. Основным недостатком такого волокна является наличие межмодовой дисперсии, возникающей из-за того, что разные моды проходят в волокне разный оптический путь (рис. 8.11, *а*).

В многомодовом волокне с градиентным профилем показателя преломления значение показателя преломления сердцевины n плавно изменяется от центра к краям по закону

$$n(r) = n_1\left[1 - 2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^g\right]^{1/2}, \qquad (8.1)$$

где r – текущий радиус; n_1 – показатель преломления в центре сердцевины (тот же, что и для ступенчатого ОВ); Δ – нормализованная разность показателей преломления; a – радиус сердцевины; g – параметр, определяющий форму профиля показателя преломления (при $g = \infty$ профиль ступенчатый, при $g = 2$ профиль параболический).

В соответствии с уравнением (8.1) моды в волокне распространяются по параболическим траекториям (рис. 8.11, *б*), и разность их путей, а следовательно, и межмодовая дисперсия, существенно меньше, чем в многомодовом волокне со ступенчатым профилем показателя преломления.

Многомодовые волокна оптимизированы для работы на длинах волн 850 и 1310 нм и отличаются большим диаметром сердцевины (стандартное – 50 мкм, для особых целей – от 62,5 до 100 мкм) и высокой числовой апертурой (0,2–0,37), что позволяет вводить в волокно большую мощность и облегчает операцию сращивания волокон. Большая ширина полосы пропускания градиентных волокон (400–1000 МГц · км) обеспечивается жестким технологическим контролем формы (параболической) профиля показателя преломления. Эти волокна в основном применяются в локальных и внутриобъектовых сетях.

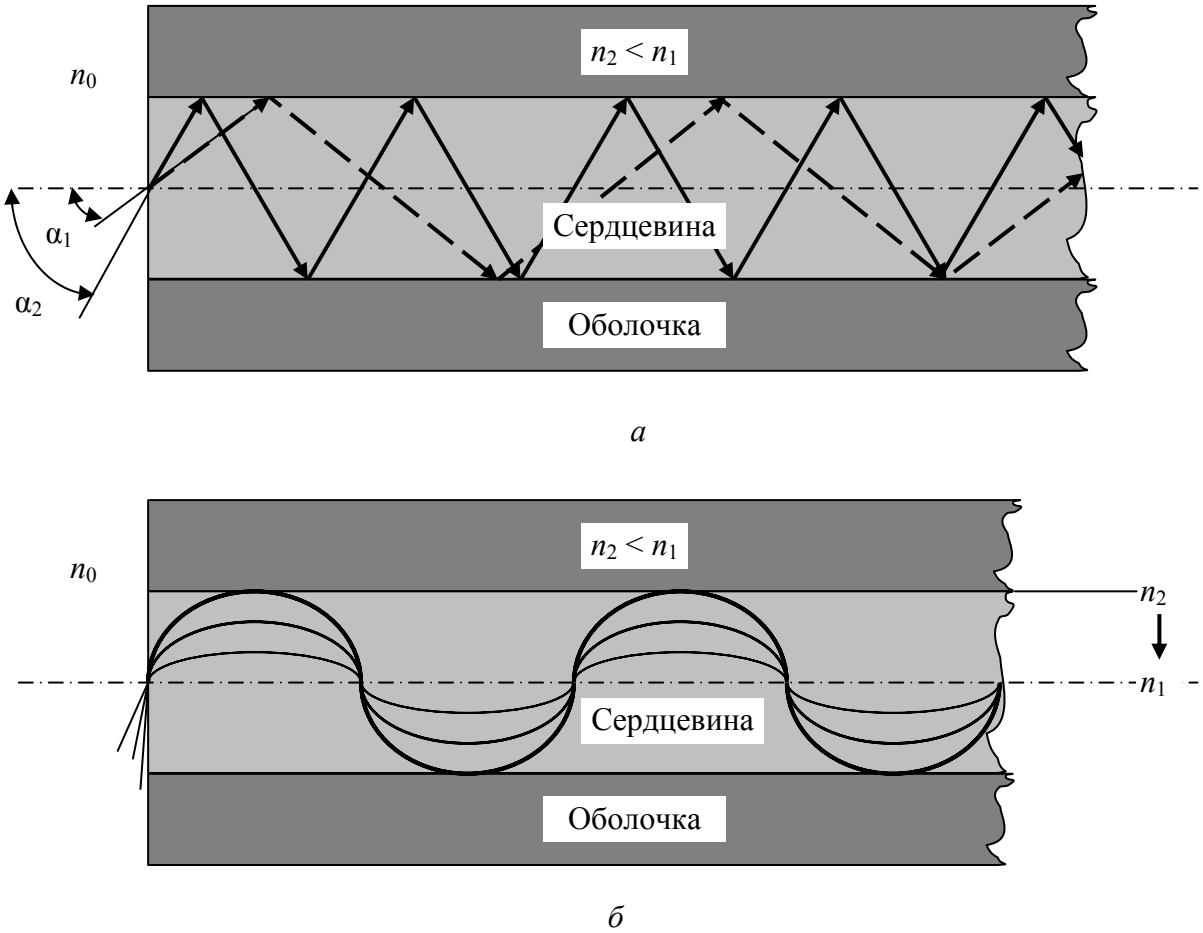


Рис. 8.11. Траектория распространения оптического сигнала:
а – в ступенчатом волокне; *б* – в градиентном волокне

Потребность в высокоскоростных локальных сетях связи, работающих на протоколах типа Gigabit Ethernet (IEEE 802,32) с использованием лазерных источников, привела к созданию новой серии многомодовых волокон: марка InfiniCor фирмы Corning, марки GigaGuide и LazerWave фирмы OFS, марка Multimode GLight фирмы Alcatel. Эти волокна способны обеспечить не только скорость передачи от 1 до 10 Гбит/с на относительно большие расстояния, но и увеличение скорости передачи в будущем. Новые ОВ полностью совместимы с используемыми в локальных сетях многомодовыми волокнами и аппаратурой.

Одномодовое волокно. Потребность в увеличении полосы пропускания и дальности передачи сигнала привела к созданию одномодового оптического волокна, диаметр сердцевины и соотношение показателей преломления сердцевины и оболочки которого таковы, что в нем может распространяться только одна мода (строго говоря, две моды с взаимно ортогональными состояниями поляризации).

Развитие магистральных и внутризоновых систем связи в направлении роста скорости и дальности передачи обусловило создание нескольких типов одномодовых волокон, которые можно классифицировать по такому крите-

рию, как *хроматическая дисперсия*. В рекомендациях МСЭ-Т регламентированы параметры этих типов волокон.

Одномодовое волокно с дисперсией, оптимизированной для использования на длине волны 1310 нм (Рек. G.652 МСЭ-Т) – исторически первое и наиболее широко распространенное волокно, производство которого осуществляется с 1983 г. для магистральных и внутризоновых сетей связи.

Стандартное одномодовое волокно предназначено для работы в двух рабочих диапазонах длин волн – 1285–1330 нм и 1530–1565 нм. Его затухание на длине волны 1550 нм очень мало (0,2 дБ/км), а дисперсия на этой длине волны составляет 18–20 пс/нм · км (рис. 8.12).

Принципиально новой модификацией этого типа ОВ являются волокна с отсутствием гидроксильного пика: на длине волны 1383 нм коэффициент затухания равен 0,31 дБ/км, стабильность затухания сохраняется даже после испытаний на водородное старение. Эти волокна (марка AHWave фирмы OFS, марка SMF 28e фирмы Coming) позволяют увеличить почти на 100 нм рабочий диапазон длин волн по сравнению со стандартным ОВ, открывая пятое окно прозрачности 1360–1460 нм, и могут обеспечить многоканальную передачу без компенсации дисперсии в городских и внутризоновых сетях. Преимуществом волокон этого типа по сравнению со стандартным ОВ является возможность реализовать 16 недорогих CWDM-каналов в диапазоне 1260–1625 нм вместо 12. Волокна соответствуют Рек. G.652.C, полностью совместимы со стандартными ОВ и существующим оборудованием и могут заменить стандартные ОВ в системах связи.

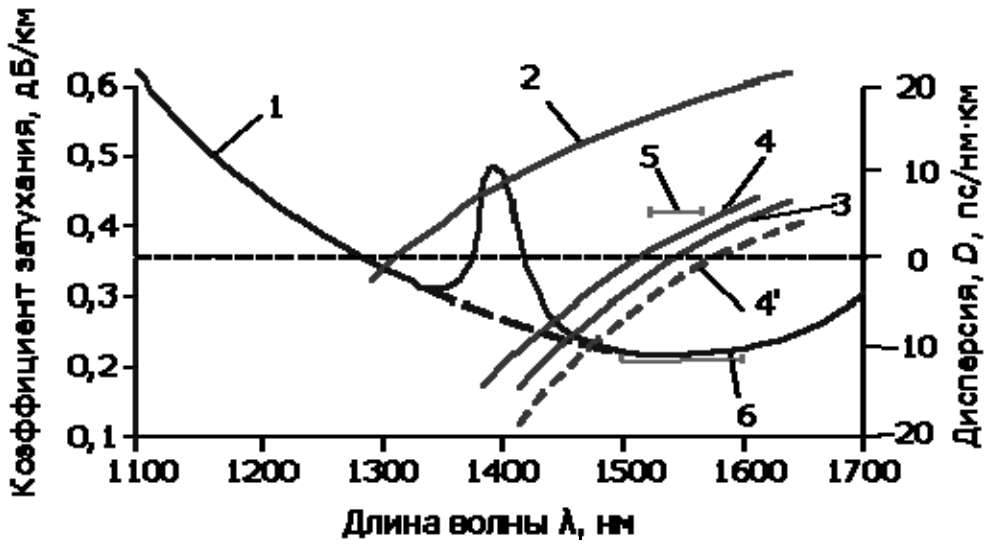


Рис. 8.12. Коэффициент затухания и дисперсионные характеристики различных типов одномодовых волокон: *1* – зависимость коэффициента затухания оптических волокон; *2* – зависимость *D* стандартного оптического волокна; *3* – зависимость *D* оптического волокна с нулевой, смещенной в область 1550 нм дисперсией; *4* и *4'* – зависимость *D* оптического волокна с ненулевой смещенной дисперсией; *5* – ширина спектра оптического усилителя на эрбиевом волокне; *6* – диапазон минимального затухания ОВ

Одномодовое волокно со смещенной в область 1550 нм длиной волны нулевой дисперсии (Рек. МСЭ-Т G.653) имеет область минимума оптических потерь, совпадающую с областью минимальной хроматической дисперсии (см. рис. 8.12). Волокно этого типа хорошо совместимо с оптическими усилителями, поскольку интервал длин волн, в котором волокно имеет наилучшие параметры по затуханию и дисперсии, совпадает с полосой максимального усиления оптических усилителей на эрбиевом волокне.

Одномодовое волокно с ненулевой дисперсией, смещенной в область длин волн 1550 нм (Рек. МСЭ-Т G.655). Необходимость разработки этого типа ОВ была связана с внедрением эрбиевых оптических усилителей в линиях связи и развитием оптических систем со спектральным уплотнением каналов, что значительно снизило себестоимость каналов. Однако способность эрбиевых оптических усилителей одновременно усиливать уплотненные сигналы в диапазоне 1550 нм, высокий уровень мощности сигнала (100 мВт и более) и большие регенерационные участки (120 км и более) привели к возникновению нелинейных оптических эффектов в кварцевом волокне. Нелинейное взаимодействие вызывает искажение сигнала и накапливается вдоль всей длины регенерационного участка.

Одномодовое волокно с контролируемой величиной (отличной от нуля) хроматической дисперсии, находящейся в пределах 0,1–6,0 пс/нм · км в области спектра оптического усилителя (1530–1565 нм), было разработано для уменьшения четырехволнового смешивания – эффекта, наиболее опасного для систем передачи со спектральным уплотнением при равномерно разнесенных по частоте каналах. Низкий наклон дисперсионной кривой и малое затухание обеспечивают использование этого волокна в расширенном диапазоне – 1530–1625 нм. Структура волокна такова, что величина его дисперсии достаточно велика, чтобы подавить эффект четырехволнового смешивания, но мала, чтобы обеспечить скорость передачи до 10 Гбит/с на большие расстояния без компенсации дисперсии.

Важнейшей характеристикой волокна с ненулевой смещенной дисперсией является большая эффективная *площадь сечения* $A_{эфф}$, что позволяет уменьшить нелинейные эффекты, не уменьшая мощности вводимого в волокно света и длины линии. При этом оптимизация профиля показателя преломления волокна в сочетании с совершенной технологией его изготовления позволила найти приемлемый компромисс при решении такой противоречивой задачи, как увеличение эффективной площади сечения, уменьшение наклона дисперсионной кривой и снижение оптических потерь на излучение на микро- и макроизгибах. Лучшим примером такого волокна может служить волокно марки LEAF, впервые изготовленное фирмой Corning, площадь эффективного сечения которого составляет 72, а также волокно марки True Wave XL фирмы OFS для подводных кабелей. К этому типу ОВ относится также волокно марки MetroCor фирмы Corning, предназначенное для использования в высокоскоростных городских сетях, поскольку в диапазоне 1530–1605 нм данное волокно имеет более низкую дисперсию (отрицательную), чем стандартное ОВ, и может обеспечить многоканальную передачу с при-

менением недорогих систем спектрального уплотнения каналов DWDM (по сравнению со стандартным ОВ). Кроме того, диаметр модового поля волокна MetroCor невелик (8,0 мкм), что позволяет снизить наклон кривой дисперсии и сдвинуть на 160 нм вправо точку нулевой дисперсии (~1640 нм).

Лекция 26

План лекции

8.4.3. Характеристики оптических волокон.
8.4.3.1. Затухание в оптическом волокне.
8.4.3.2. Дисперсия оптического волокна.
8.4.3.3. Нелинейные характеристики.
8.4.3.4. Геометрические характеристики.
Литература: [4, 27, 31, 52, 53].

8.4.3. Характеристики оптических волокон

Создание современных волоконно-оптических линий связи требует все более высокого качества оптического волокна и жесткого контроля за его параметрами, каждый из которых обеспечивает те или иные функции системы. Так, для оптимизации бюджета потерь и длин регенерационных участков магистральных волоконно-оптических линий связи крайне важно четко контролировать коэффициент затухания. Коэффициент хроматической дисперсии определяет предельное расстояние, на которое может передаваться оптический сигнал с заданными спектральными характеристиками при заданных требованиях к качеству передачи. В системах со спектральным уплотнением величина дисперсии влияет на степень проявления нелинейных эффектов и связанные с этим перекрестные помехи.

Диаметр модового поля, его неконцентричность по отношению к оболочке волокна, диаметр сердцевины волокна и ее некруглость, радиус собственной кривизны ОВ играют важную роль для минимизации потерь в местах сварных соединений и обеспечения их качества. Кроме того, асимметрия сердцевины вызывает появление поляризационной модовой дисперсии.

Стабильность затухания при макро- и микроизгибах, высокая механическая прочность ОВ и большие длины волокна (кабеля) позволяют оптимизировать процесс каблирования (замена одной кабельной сети на другую), прокладки и монтажа кабеля, а также техническое обслуживание линейных трактов. Механическая прочность ОВ является основным фактором, определяющим надежность и долговечность оптического кабеля и линии связи.

Затухание и дисперсия – два основных параметра оптического волокна, стремление к оптимизации которых в основном и определило ход развития волоконно-оптической технологии.

8.4.3.1. Затухание в оптическом волокне

Величина затухания в ОВ описывает уменьшение интенсивности излучения по мере его прохождения по волокну.

Затухание $A(\lambda)$, дБ, на длине волны λ, между поперечными сечениями волокна 1 и 2, находящимися на расстоянии L, км, определяется как

$$A(\lambda) = -10\lg\frac{P_2(\lambda)}{P_1(\lambda)}, \tag{8.2}$$

где $P_2(\lambda)$ – интенсивность импульса на выходе из поперечного сечения 2; $P_1(\lambda)$ – интенсивность импульса на входе в поперечное сечение 1.

Коэффициент затухания $\alpha(\lambda)$, дБ/км, или затухание на единицу длины волокна, не зависит от длины волокна и рассчитывается как

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L}. \tag{8.3}$$

Оптические потери в кварцевом оптическом волокне α определяются в основном тремя факторами (рис. 8.13):

- поглощением излучения материалом $\alpha_{погл}$;
- рэлеевским рассеянием $\alpha_{расс}$;
- потерями на излучение $\alpha_{изл}$.

Полные оптические потери в общем виде можно представить как

$$\alpha = \alpha_{погл} + \alpha_{расс} + \alpha_{изл}. \tag{8.4}$$

Потери на поглощение состоят из собственных оптических потерь в кварцевом стекле ОВ и избыточных потерь, вызванных поглощением излучения на примесях.

Собственные оптические потери обусловлены краями основных полос фундаментального поглощения в ультрафиолетовой и ближней инфракрасной областях спектра. Первая полоса обусловлена природой химической связи Si–O, а длинноволновый край поглощения – собственными колебаниями связи Si–O и ее обертонами. На рабочей длине волны 1550 нм поглощение длинноволнового края сказывается незначительно, что обеспечивает предельно низкие для кварцевого ОВ потери в этой области. В области длин волн, бóльших 1600 нм, потери на инфракрасное поглощение доминируют.

Избыточные потери поглощения вызываются наличием поглощающих примесей, среди которых наибольшее влияние оказывают ионы гидроксила OH^-. Среди ряда полос поглощения, причиной которого является наличие ионов OH^- в кварцевом стекле, наиболее интенсивна полоса поглощения на длине волны 1383 нм, обусловленная комбинацией обертонов основной полосы поглощения ионов OH^- (2,73 мкм) и колебаний кремнекислородной решетки кварцевого стекла. Эта полоса поглощения в рабочей области спектра кварцевого ОВ называется *гидроксильным пиком*.

Рэлеевское рассеяние является причиной собственных оптических потерь кварцевого стекла, имеющей в основе фундаментальный механизм – рассеяние излучения на флуктуациях плотности или показателя преломления (размером меньше 0,1λ), «замороженных» в стекле в процессе его изго- товления.

Оптические потери α, вызванные рэлеевским рассеянием, уменьшаются с возрастанием длины волны по закону $\alpha = A/\lambda^4$, и именно они определяют основные потери на длине волны 1550 нм, где потери для кварцевого волокна минимальны.

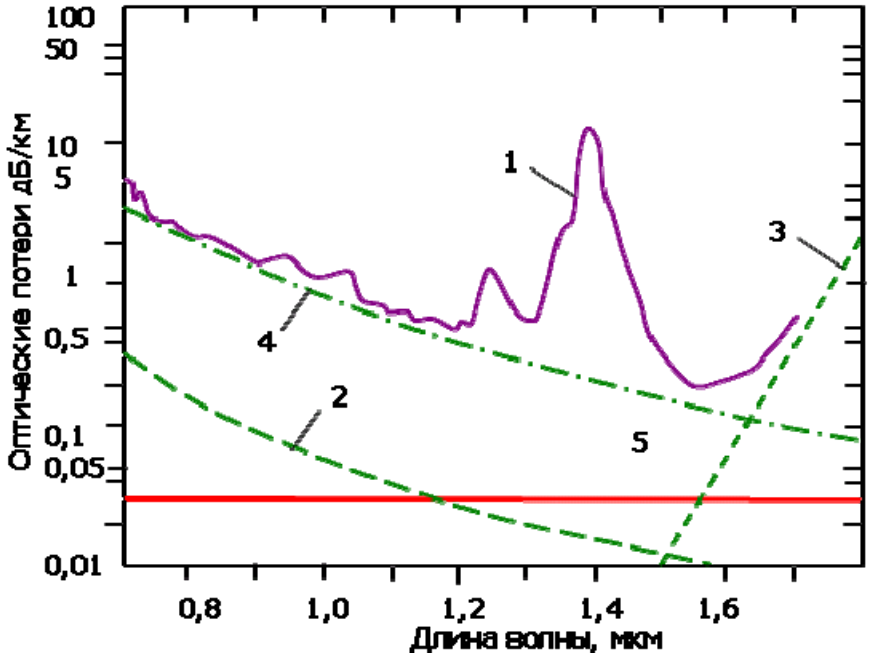


Рис. 8.13. Спектральная зависимость оптических потерь кварцевого одномодового ОВ и составляющие ее механизмы: *1* – спектральное поглощение кварцевого одномодового волокна с гидроксильными пиками на длинах волн 0,95; 1,25; 1,38 мкм; *2* – собственное поглощение в ультрафиолетовой области спектра; *3* – собственное поглощение в инфракрасной области спектра; *4* – рэлеевское рассеяние; *5* – потери на излучение, вызванные волноводными нерегулярностями

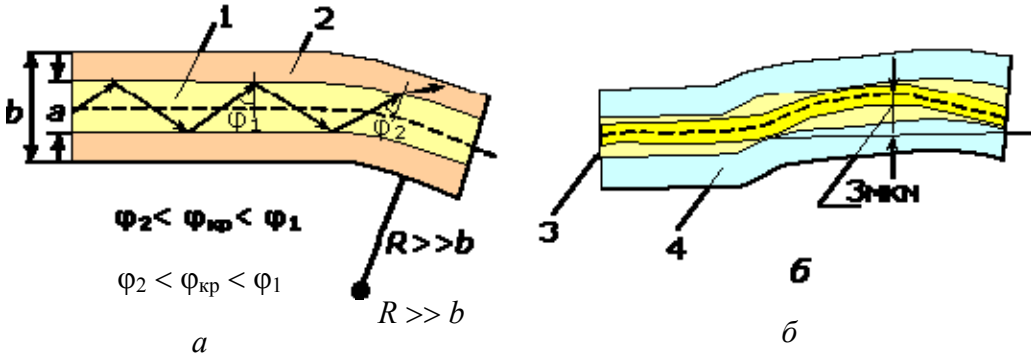


Рис. 8.14. Потери на излучение в оптических волокнах: *а* – на макроизгибах (многомодовое ОВ); *б* – на микроизгибах: *1* – сердцевина ОВ; *2* – оболочка ОВ; *3* – оптическое волокно; *4* – защитное полимерное покрытие; *d* – диаметр сердцевины; *b* – диаметр оболочки; *l b* - *d* диус изгиба; $\varphi_{кр}$ – критический угол

Потери на излучение вызываются волноводными нерегулярностями, которые обусловлены в основном наличием макро- и микроизгибов ОВ и нерегулярностей геометрии ОВ с периодом менее 1 мм, когда энергия направляемых мод передается в моды излучения. Потери на излучение на макро- и микроизгибах ОВ возникают при любых отклонениях положения отрезка ОВ от прямолинейного и вызваны выходом некоторого количества излучения в оболочку и его потерей. Потери на излучение на макроизгибах возникают, когда радиус изгиба ОВ во много раз превышает диаметр его оболочки (рис. 8.14, *а*). В этом случае угол падения луча на границе «сердцевина – оболочка» в месте изгиба φ_2 становится меньше критического угла полного внутреннего отражения ($\varphi_2 < \varphi_{кр} < \varphi_1$) и луч выходит из сердцевины, что приводит к увеличению оптических потерь.

Микроизгибы вызываются случайными отклонениями ОВ от его номинального осевого положения, амплитуда отклонений составляет менее 3 мкм, а период – менее 1 мм (рис. 8.14, *б*). Причинами микроизгибов являются деформации растяжения и сжатия ОВ при изменениях температуры, наложении оболочек, скрутке при изготовлении кабеля.

Рабочие диапазоны длин волн. В современных линиях связи, где материалом среды передачи является кварцевое оптическое волокно, используются несколько рабочих диапазонов длин волн излучения (окон прозрачности), которые обозначены на кривой спектрального затухания кварцевого ОВ, представленной на рис. 8.15.

Первые линии связи на многомодовых волокнах работали в первом окне прозрачности (850 нм), поскольку для работы в этом диапазоне были доступны лазерные источники и приемники. Применение линий, использующих первое окно прозрачности, ограничивается локальными и внутриобъектовыми сетями.

Линии магистральной и внутризоновой связи, имеющие длину регенерационного участка 30–70 км, работают во втором окне прозрачности (1285–1330 нм), величина хроматической дисперсии в котором минимальна.

.

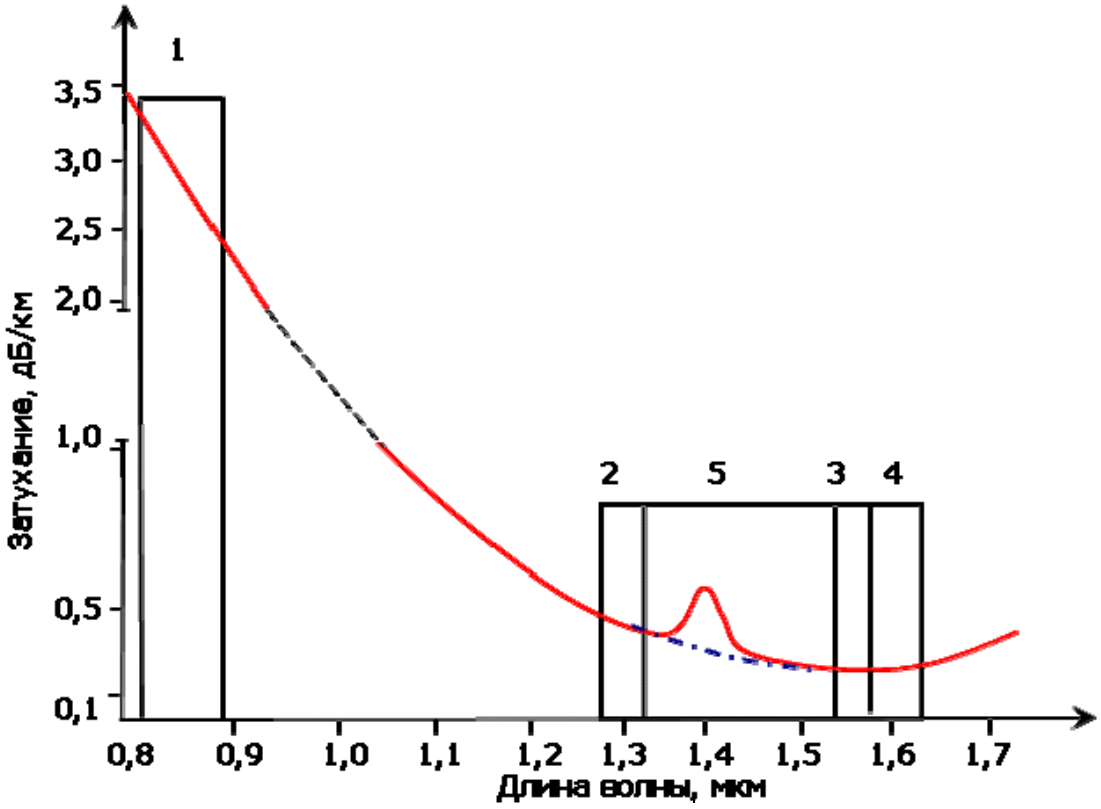


Рис.

8.15. Спектральное затухание и окна прозрачности кварцевого оптического волокна: *1* – первое окно; *2* – второе окно; *3* – третье окно; *4* – четвертое окно; *5* – пятое окно

Наиболее перспективным для высокоемких сетей связи оказалось освоение диапазонов пропускания в длинноволновой области: третьего (1530–1565 нм) и четвертого (1565–1625 нм) окон прозрачности, в которых все современные типы кварцевых оптических волокон имеют наименьшее затухание (0,18–0,20 дБ/км) и для которых разработаны оптические усилители на основе легированного эрбием оптического волокна.

В последние годы разработана принципиально новая технология изготовления оптических волокон, исключающая наличие ионов OH^- в стекле сердцевины волокна. Таким образом было открыто для передачи пятое окно прозрачности (1350–1530 нм), что увеличило рабочий диапазон длин волн почти на 100 нм по сравнению со стандартным волокном. При этом коэффициент затухания ОВ в пятом окне прозрачности оказывается даже меньшим, чем во втором окне.

Оценка качества ОВ по затуханию проводится с учетом комплекса характеристик, которые обычно представлены в спецификациях на оптические волокна, а именно:

- коэффициент затухания на опорных длинах волн 850, 1310 и 1550 нм;
- прирост коэффициента затухания в интервале рабочих длин волн относительно коэффициента затухания на опорной длине волны;

- коэффициент затухания на длине волны гидроксильного пика 1383 ±3 нм;
- однородность (непрерывность) затухания по длине волокна;
- макроизгибные потери (изменения затухания волокна, намотанного на оправку диаметром 32 мм, один виток, и на оправку диаметром 75 мм, 100 витков).

Длина волны отсечки определяется как наименьшая длина волны, при которой в волокне реализуется одномодовый режим распространения излучения. Длина волны отсечки зависит от натяжения волокна, радиуса изгиба волокна, сжатия и т. д., поэтому длина волны отсечки «свободного волокна» λ_c меньше, чем длина волны отсечки оптического кабеля λ_{cc}. Важность этого параметра обусловлена тем, что при превышении значения длины волны отсечки оптического кабеля над длиной волны используемого в линии связи оптического источника излучения передача сигнала по ОК в одномодовом режиме становится невозможной. В спецификациях на ОВ обычно приводится значение параметра λ_{cc} для волокна в кабеле.

Диаметр модового поля (ДМП) – одна из важнейших характеристик одномодового волокна. Характеризуется диаметром сечения ОВ, в котором сосредоточена основная часть мощности распространяющегося излучения. Диаметр модового поля по величине численно близок, но не равен диаметру сердцевины ОВ. В спецификации на ОВ обычно приводится также погрешность концентричности ДМП волокна. Некруглость ДМП, как правило, не измеряется.

8.4.3.2. Дисперсия оптического волокна

Второй важнейшей характеристикой оптического волокна с точки зрения применения его в линиях связи является *дисперсия* – рассеяние во времени и в пространстве спектральных или модовых составляющих оптического импульса, что обусловливает увеличение его длительности при распространении по длине ОВ. При прохождении последовательности прямоугольных импульсов (цифрового сигнала) через определенную длину ОВ импульсы, вследствие дисперсии, будут уширяться и в итоге станет невозможным разделение двух соседних импульсов, т. е. возникнут ошибки передачи. Таким образом, дисперсия является основным фактором, ограничивающим пропускную способность ОВ, т. е. ширину его полосы пропускания.

Три механизма дисперсии являются причинами, уменьшающими ширину полосы пропускания ОВ:

- межмодовая дисперсия;
- хроматическая дисперсия;
- поляризационно-модовая дисперсия.

Относительное влияние каждого из этих механизмов зависит от типа ОВ (многомодовое или одномодовое) и типа источника излучения (лазерный или светоизлучающий диод).

Межмодовая дисперсия обусловлена различной скоростью распространения мод в волокне и возникает в многомодовых ОВ, в том числе при использовании лазерных источников. Величина межмодовой дисперсии определяется в основном профилем показателя преломления ОВ. В одномодовых ОВ межмодовая дисперсия возникает, если рабочая длина волны меньше длины волны отсечки волокна, т. е. когда режим работы ОВ перестает быть одномодовым.

Хроматическая дисперсия возникает из-за различия скоростей распространения длин волн, составляющих спектр источника излучения, что приводит к уширению импульса. Величина хроматической дисперсии определяется двумя составляющими: *материальной дисперсией* $M_м(\lambda)$ и *волноводной дисперсией* $M_в(\lambda)$.

Материальная дисперсия может рассматриваться как уширение импульса при его распространении через массив стекла, что обусловлено зависимостью показателя преломления стекла сердцевины ОВ от длины волны.

Волноводная дисперсия связана с направляющими свойствами волокна и определяется зависимостью групповой скорости мод от длины волны излучения. Степень этой зависимости определяется волноводной структурой волокна: геометрическими размерами сердцевины и формой профиля показателя преломления, а также шириной спектра излучения источника.

Для расчета хроматической дисперсии $D(\lambda)$, пс/нм · км, волокон с несмещенной дисперсией на длине волны пользуются уравнением Селмейера:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4}\lambda\left[1-\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^4\right] = \frac{S_0}{4}\left[\lambda - \frac{\lambda_0^3}{\lambda^3}\right]\frac{n!}{r!(n-r)!}, \qquad (8.5)$$

где λ_0 – длина волны нулевой дисперсии, нм; S_0 – наклон дисперсионной кривой.

Типичные кривые материальной и волноводной дисперсии для разных типов одномодовых волокон: стандартного с несмещенной дисперсией (Рек. МСЭ-Т G.652), ОВ со смещенной дисперсией (Рек. МСЭ-Т G.653) и ОВ с ненулевой смещенной дисперсией (Рек. МСЭ-Т G.655) – приведены на рис. 8.16.

Материальная дисперсия практически одинакова для всех типов ОВ и на длинах волн больше 1290 нм имеет положительный знак. Волноводная дисперсия имеет отрицательный знак, ее величина для стандартного ОВ незначительна, что в сочетании с материальной дисперсией дает нулевое значение хроматической дисперсии для стандартного волокна на длине волны 1310 нм.

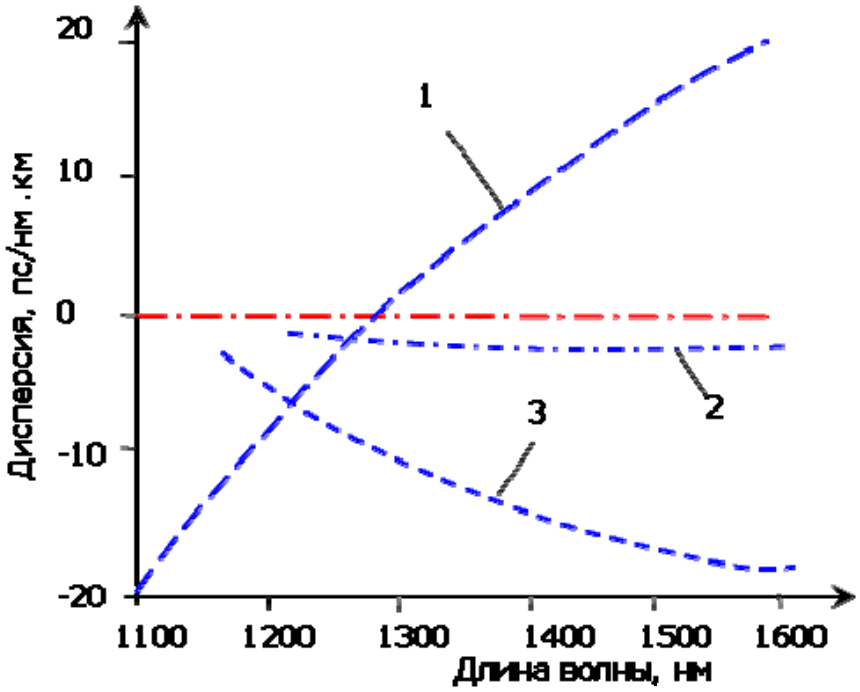


Рис. 8.16. Типичные кривые материальной и волноводной дисперсии одномодовых волокон: *1* – материальная дисперсия; *2* – волноводная дисперсия стандартного ОВ с несмещенной дисперсией (Рек. МСЭ-Т G.652); *3* – волноводная дисперсия ОВ со смещенной и ненулевой смещенной дисперсией (Рек. МСЭ-Т G.653 и G.655 соответственно)

Изменяя структуру профиля показателя преломления ОВ, т. е. меняя величину волноводной дисперсии, можно изменять соотношение между материальной и волноводной дисперсиями и, следовательно, величину суммарной хроматической дисперсии. Этот принцип лежит в основе технологии получения ОВ со смещенной (Рек. МСЭ-Т G.653) и ненулевой смещенной (Рек. МСЭ-Т G.655) дисперсиями. Волокна этих типов оптимизированы для работы в третьем и четвертом окнах прозрачности (1530–1625 нм), где сочетаются минимальное затухание на длине волны 1550 нм и низкое значение хроматической дисперсии в этом диапазоне.

В спецификациях хроматическую дисперсию ОВ обычно характеризуют следующие параметры:

- длина волны нулевой дисперсии A_0, нм;
- максимальная дисперсия, пс/нм · км, в рабочих интервалах длин волн 1285–1330 нм и 1530–1565 нм;
- максимальный наклон дисперсионной кривой при A_0, пс/нм^2 · км.

Поляризационная модовая дисперсия (ПМД) характеризуется временем дифференциальной групповой задержки между двумя ортогонально поляризованными модами, что приводит к уширению импульса. Причиной возникновения ПМД является небольшая асимметрия поперечного сечения, всегда имеющая место в реальных ОВ, и напряжения, которым эти ОВ подвергают-

ся. Величина ПМД определяется комбинацией двух факторов: линейного двулучепреломления и взаимодействия мод.

Появление ПМД в ОВ определяют два вида факторов: внутренние и внешние. *Внутренние факторы* – это некруглость сердцевины и оболочки ОВ, неконцентричность сердцевины по отношению к оболочке, эллиптичность покрытия, неконцентричность покрытия по отношению к волокну, внутренние напряжения в стекле ОВ. *Внешние факторы* ПМД связаны с усилиями, действующими на ОВ: это радиальные напряжения сжатия, напряжения сжатия и растяжения при изгибе ОВ и напряжения сдвига при кручении оптического волокна.

Характеристики асимметрии ОВ имеют случайное распределение по длине волокна и во времени, что свидетельствует о статистической природе явления ПМД. Величина ПМД одного участка линии может добавляться и вычитаться из величины другого случайным образом, отсюда имеет место квадратичная зависимость величины ПМД от длины ОВ.

Важной особенностью ПМД является то, что ее величина не является постоянной и зависит от технологии каблирования и воздействий на кабель, таких как сжатие, скручивание, изгиб, монтаж и прокладка кабеля и т. д.

В спецификациях обычно приводятся два параметра, характеризующие величину ПМД, – значение коэффициента ПМД конкретного волокна и величина коэффициента ПМД протяженной линии. В пределах ошибки измерения величина коэффициента ПМД одна и та же для длин волн 1310 и 1550 нм.

Коэффициент ПМД протяженной линии, состоящей из соединенных волокон, определяется как квадратный корень из математического ожидания квадрата (среднеквадратичная величина) коэффициентов ПМД отдельных волокон.

Эффект ПМД в линиях связи первого поколения не принимался во внимание, однако по мере увеличения протяженности линий и внедрения оптических усилителей ПМД стала проявлять себя как фактор, ограничивающий дальность и скорость передачи. При этом требования к ширине полосы пропускания растут на всех уровнях, начиная от магистральных сетей и кончая сетями доступа, и это обстоятельство вызывает необходимость ужесточения требований к ПМД и ее контроля при каблировании и эксплуатации линий связи.

8.4.3.3. Нелинейные характеристики

Нелинейные оптические эффекты возникают в результате взаимодействия электромагнитного излучения световой волны с передающей средой – материалом оптического волокна. Эти эффекты начинают проявляться в условиях высокой интенсивности светового сигнала и большой протяженности линий, поскольку нелинейное взаимодействие накапливается вдоль всей длины регенерационного участка.

Взаимодействие светового сигнала и кварцевой среды ОВ приводит к возникновению целого ряда нелинейных эффектов, которые могут быть подразделены на две категории:

рассеивающие эффекты:

- вынужденное бриллюэновское рассеяние;
- вынужденное рáмановское рассеяние;

эффекты, имеющие природу эффекта Керра, т. е. изменение показателя преломления среды от интенсивности передаваемого излучения:

- фазовая самомодуляция;
- фазовая кросс-модуляция;
- четырехволновое смешивание.

Первым по мере увеличения мощности сигнала проявляется *эффект четырехволнового смешивания*, когда в результате нелинейного взаимодействия энергия из двух соседних спектральных каналов перекачивается в два паразитных канала (рис. 8.17). Новые каналы накладываются на рабочие каналы, создавая помехи. Влияние этого эффекта особенно велико, когда длина волны нулевой дисперсии находится в рабочем диапазоне длин волн (волокно с нулевой смещенной дисперсией типа G.653).

Нелинейные эффекты являются важной проблемой высокоемких высокоскоростных) систем передачи, которые используют эрбиевые оптические усилители, позволяющие вводить в ОВ сигнал высокой мощности, технику спектрального уплотнения и имеют большую протяженность.

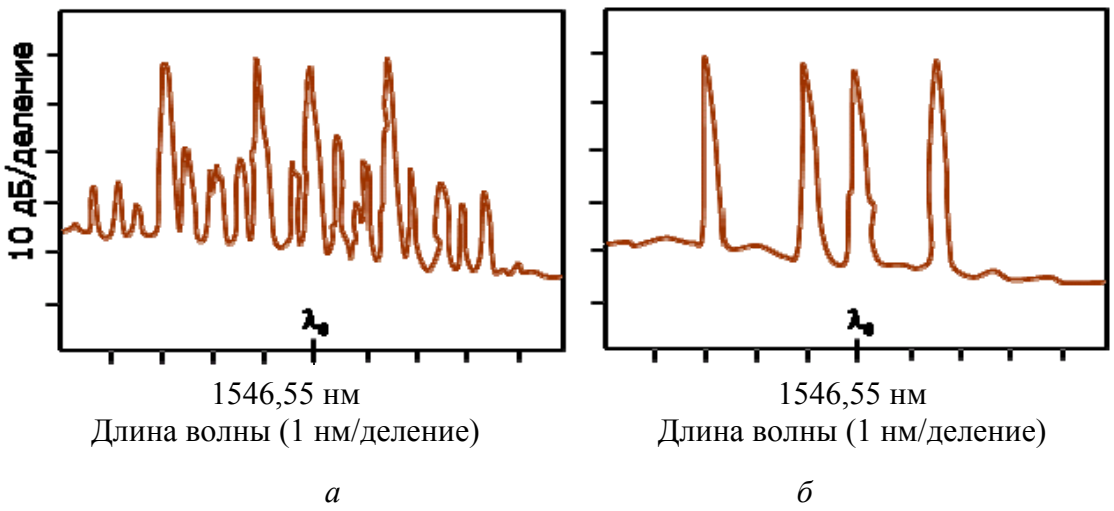


Рис. 8.17. Влияние четырехволнового смешивания на дисперсию ОВ: *а* – ОВ со смещенной дисперсией, длина ОВ 25 км, D = 0 пс/нм·км при λ_0 = 1546,55 нм; *б* – ОВ с ненулевой смещенной дисперсией марки TrueWave, длина ОВ 50 км, D = 2,5 пс/нм·км при λ_0 = 1546,55 нм

Оптическое волокно характеризуется рядом нелинейных характеристик, среди которых следует отметить две наиболее изученные к настоящему времени.

Эффективная площадь сечения $A_{эфф}$ определяет характерную пространственную область поперечного сечения ОВ, в которой происходит нелинейное взаимодействие. Для волокон с несмещенной дисперсией (типов G.652 и G.654) вблизи длины волны отсечки при ступенчатом показателе преломления расчет эффективной площади $A_{эфф}$, использующий гауссову аппроксимацию при интегрировании распределения интенсивности фундаментальной моды в сечении волокна, дает выражение

$$A_{эфф} = \pi\omega^2, \quad (8.6)$$

где ω – радиус модового поля.

При длинах волн, больших по сравнению с длиной волны отсечки, для волокон со смещенной и с ненулевой смещенной дисперсией типов G.653 и G.655 используется более общая эмпирическая формула, в которую вводится поправочный коэффициент – корректирующий фактор k:

$$A_{эфф} = k\pi\omega^2. \quad (8.7)$$

Таким образом, для точного определения эффективной площади сечения конкретного типа волокна и для данной длины волны необходимо определить диаметр модового поля и корректирующий фактор (безразмерный коэффициент), представляющий собой отношение диаметра модового поля к $A_{эфф}$.

В общем случае корректирующий фактор k зависит как от длины волны, так и от конструкции (профиля показателя преломления) волокна. Значения корректирующего фактора для некоторых волокон с разными показателями преломления приведены в табл. 8.6.

Если рассматривать более узкий диапазон длин волн (1520–1560 нм), то для волокон со смещенной и с ненулевой смещенной дисперсией типов G.653 и G.655 корректирующий фактор практически не зависит от длины волны.

Таблица 8.6

Значения корректирующего фактора *k*

Тип волокна (Рек. МСЭ-Т)	Корректирующий фактор	
	Длина волны, нм	
	1310	1550
G.652	0,970–0,980	0,955–0,965
G.653	0,0940–0,950	0,945–0,960
G.654	–	0,975–0,985

Коэффициент нелинейности. При высокой интенсивности поля показатель преломления n материала сердцевины ОВ становится зависимым от интенсивности излучения и выражается как

$$n = n_0 + n_2 + I = n_0 + n_2 \frac{P}{A_{эфф}}, \qquad (8.8)$$

где n_0 – линейная часть показателя преломления; n_2 – нелинейная часть показателя преломления; I – интенсивность светового потока; P – мощность излучения.

Нелинейная часть показателя преломления n_2 характеризует только свойства стекла ОВ. Методы непосредственного измерения этой величины в оптическом волокне еще недостаточно разработаны. Стекло сердцевины оптического волокна в поперечном сечении неоднородно по составу и физическим характеристикам, и в общем случае нелинейный показатель преломления должен быть различным в разных областях сердцевины.

Коэффициент нелинейности $n_2/A_{эфф}$ является наиболее полной характеристикой нелинейных свойств оптических волокон и используется для инженерных расчетов при рассмотрении системных ограничений. Однако требования к численным значениям коэффициента нелинейности и нелинейного показателя преломления n_2 еще не сформулированы.

8.4.3.4. Геометрические характеристики

Исключительно важными для строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий передачи являются геометрические характеристики ОВ – один из основных показателей его качества, стабильности параметров по длине ОВ и, следовательно, совершенства технологии его изготовления.

Геометрические параметры считаются основным фактором, определяющим уровень оптических потерь при сварке волокон и количество успешных сварок, что существенно сказывается на уровне затрат на строительство линий связи. Жесткие допуски на геометрические параметры ОВ упрощают и ускоряют сварку волокон, снижают потребность в испытаниях, обеспечивая получение высококачественного сварного соединения ОВ. Так, например, несоблюдение допусков на диаметр оболочки ОВ существенно затрудняет заделку такого волокна в оптические разъемы, особенно в полевых условиях, а несоблюдение допусков на неконцентричность сердцевины относительно оболочки приводит к возрастанию (иногда неприемлемому) потерь в сварных соединениях. Значительный собственный изгиб волокна (малый радиус кривизны) при одновременной сварке нескольких волокон может привести к большим отклонениям геометрических параметров и, как следствие, к большим приростам затухания в местах сварки. При этом необходимо, чтобы контроль геометрических параметров осуществлялся в процессе производства волокна в каждом метре его строительной длины, а не по общему распределению параметра после изготовления ОВ

Значения геометрических параметров одномодовых волокон, достигнутые к настоящему времени ведущими мировыми фирмами (Corning Inc., OFS, Sumitomo и др.), приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Геометрические характеристики одномодовых волокон

Параметр	Единица измерения	Значение
Диаметр оболочки	мкм	±0,7
Некруглость оболочки	%	≤ 1
Погрешность концентричности сердцевины	мкм	≤ 0,4
Допуск на диаметр покрытия	мкм	±5
Погрешность концентричности покрытия	мкм	≤ 12
Радиус собственной кривизны	м	≤ 4,0

В спецификации фирмы-изготовителя должен быть отражен комплекс параметров, характеризующих геометрию оптического волокна:

- диаметр оболочки волокна;
- допуск на диаметр оболочки волокна;
- диаметр сердцевины волокна;
- допуск на диаметр сердцевины;
- некруглость оболочки (разница между максимальным и минимальным диаметрами, деленная на среднее значение диаметра);
- погрешность концентричности сердцевины относительно оболочки (расстояние между центрами сердцевины и оболочки волокна);
- диаметр покрытия;
- погрешность концентричности покрытия относительно оболочки (расстояние между центрами покрытия и оболочки волокна);
- радиус собственной кривизны;
- строительная длина.

Лекция 27

П л а н л е к ц и и

8.4.4. Материалы для изготовления ОВ и ОК.
8.4.4.1. Материалы для изготовления ОВ.
8.4.4.2. Материалы для изготовления ОК.
8.4.4.3. Материалы для изготовления оболочек ОК.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [4, 27, 31, 52, 53].

8.4.4. Материалы для изготовления ОВ и ОК

8.4.4.1. Материалы для изготовления ОВ

Оптическое волокно должно изготовляться, по крайней мере, из двух материалов, различающихся показателем преломления. В мировой практике

нашли применение следующие виды ОВ, отличающиеся материалами, из которых они изготовлены.

Полимерные оптические волокна (ПОВ) изготавливаются на основе целого ряда полимерных материалов, из которых наиболее распространены полиметилметакрилат (сердцевина) и фторполимеры (оболочка).

Лидером в исследованиях ПОВ является Япония, где этими вопросами занимаются не менее 30 лет, однако только в последние годы появились сообщения о получении образцов длиной 50–100 м с затуханием менее 50 дБ/км в области длин волн 850–1300 нм. В 2001 г. было достигнуто затухание ~ 15 дБ/км с использованием нового химического процесса и создана экспериментальная локальная система связи в г. Кейо (Япония). Производители ПОВ декларируют его низкую стоимость и легкость монтажа в будущем, однако остальные характеристики, соответствующие требованиям техники связи, пока не реализованы.

Перспективная область применения ПОВ – линии длиной 10–100 м с большим количеством подключений при отсутствии высоких требований к надежности и емкости сетей, в том числе локальные сети, сети доступа, датчики в автомобилях и военная техника (бортовые линии связи).

Кварц-полимерные оптические волокна имеют сердцевину из кварцевого стекла и оболочку из полимерных материалов (кремнийорганические компаунды, тефлоны). Коэффициент затухания 5–8 дБ/км на длине волны 850 нм. Преимуществом этих ОВ является сердцевина большого диаметра (200–1000 мкм), высокая механическая прочность, малая чувствительность к изгибам и повышенная стойкость к ионизирующим излучениям. Область применения – линии длиной несколько сотен метров.

Волокна из многокомпонентных силикатных стекол разрабатывались для первых поколений линий связи, их достоинством являлась возможность получения высокой числовой апертуры (до 0,6). Однако эти волокна не нашли применения в технике связи из-за невозможности получения высокого уровня параметров, в том числе коэффициента затухания, при промышленном производстве.

Волокна, прозрачные в среднем инфракрасном диапазоне. Теоретические исследования показали, что существуют стеклообразные и кристаллические материалы, позволяющие создавать оптические волокна в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне (2–11 мкм) с ультранизкими потерями (101–105 дБ/км).

Материалы для ОВ среднего ИК-диапазона можно разделить на три группы:

- галогениды (стеклообразные и кристаллические);
- халькогениды;
- оксиды тяжелых металлов.

Несмотря на интенсивные исследования, развернутые в 1980-е годы в этом направлении, практически значимых результатов в разработке оптических волокон, прозрачных в среднем ИК-диапазоне, до настоящего времени не достигнуто. Это связано с крайне сложными проблемами создания технологии получения таких волокон.

Кварцевые оптические волокна имеют сердцевину из кварцевого стекла, легированного малыми добавками стеклообразующих компонентов (оксидов германия, фосфора, фтора) для изменения показателя преломления, и оболочку из кварцевого стекла.

Благодаря уникальному комплексу свойств, таких как прозрачность в ближней ИК-области спектра, высокая механическая прочность, вязкостные характеристики, обеспечивающие хорошую формуемость стекла, высокая химическая стойкость и стабильность характеристик, кварцевое стекло является наиболее широко применяемой средой передачи современных сетей связи. Именно на основе кварцевого стекла была создана высокопроизводительная, широкомасштабная и экономически выгодная промышленная технология производства оптического волокна с комплексом свойств, полностью отвечающих требованиям техники связи.

Оценка предельно достижимой скорости передачи по кварцевому оптическому волокну (10–30 Тбит/с) и сравнение ее с имеющими место в настоящее время скоростями передачи показывает, что полоса пропускания ОВ действующих линий используется менее чем на 1 %.

Защитные полимерные покрытия кварцевых ОВ. Несмотря на то что предел прочности массивного кварцевого стекла очень высок (~ 20 ГПа), волокно, имеющее развитую поверхность по отношению к малому объему стекла, крайне чувствительно к поверхностным дефектам (микротрещинам, пылинкам), которые резко снижают его прочность, особенно в присутствии влаги и под действием высоких температур и напряжений. Для сохранения механической прочности и защиты поверхности ОВ от внешних воздействий используют полимерные покрытия, которые, как правило, имеют двухслойную структуру. При этом причиной роста оптических потерь в ОВ являются микроизгибы, возникающие при каблировании ОВ или изменениях температуры как следствие напряжений в конструкции «ОВ – покрытия – кабельные компоненты».

Материалом современных покрытий ОВ являются уретанакрилаты двух типов, отверждаемые под действием ультрафиолетового излучения. Первый тип имеет модуль упругости ~ 0,7 МПа, образует мягкий внутренний слой поверх кварцевой оболочки ОВ, защищающий ОВ от внешних сжимающих усилий. Второй тип имеет модуль упругости почти на три порядка выше, образует твердый наружный слой, который обеспечивает прочность ОВ, его стойкость к абразивным воздействиям и влагозащиту.

Основными требованиями к защитным покрытиям ОВ являются стабильность характеристик в интервале рабочих температур и отсутствие химического взаимодействия с материалами кабеля (например, с гидрофобным заполнителем и др.). Кроме того, покрытие должно обеспечивать стабильную адгезию к ОВ в течение всего срока службы и в то же время легко удаляться механически, с помощью стриппера (инструмент для удаления изоляции и разделки ОК). Обычно усилие стягивания покрытий составляет 1,3–8,9.

8.4.4.2. Материалы для изготовления ОК

При изготовлении ОК помимо ОВ используются следующие основные материалы:

- краски («чернила») для окраски ОВ;
- заполнители (гидрофобные компаунды, порошки, водоблокирующие нити и ленты) для защиты ОК от распространения влаги;
- полибутилентерефталат, поликарбонат, полиамид для изготовления оптических модулей;
- полиэтилентерефталатные ленты для скрепления элементов сердечника ОК;
- полиэтиленовые композиции для изготовления корделей;
- стеклопластиковые стержни, армидные нити, стальная проволока для силовых элементов;
- алюминиевая и стальная лента для изготовления комбинированных оболочек ОК;
- полиэтиленовые композиции, поливинилхлоридные пластикаты, полиуретаны, полиамиды для изготовления наружных оболочек ОК.

Характеристики основных материалов, используемых при изготовлении ОК, приведены в табл. 8.8.

В качестве материалов для изготовления оптических модулей используются в основном полибутилентерефталат, поликарбонат и полиамид, имеющие механические характеристики, обеспечивающие защиту ОВ, размещаемого внутри оптических модулей, от внешних воздействий.

Кордели (конструктивные элементы заполнения сердечника ОК повивной скрутки, используемые в качестве элементов заполнения сердечника) изготавливаются из полиэтиленовых композиций в виде сплошных стержней диаметром, аналогичным диаметру оптических модулей. В ряде случаев вместо корделей используют оптические модули с гидрофобным заполнителем, не содержащие ОВ.

Таблица 8.8

Характеристики материалов, используемых для изготовления ОК

Материал	Модуль Юнга, Н/мм^2	Плотность, г/см^3	Коэффициент термического расширения, 1/К
Кварцевое стекло	72500	2,20	$5{,}5\cdot10^{-7}$
Полибутилентерефталат	1600	1,31	$1{,}5\cdot10^{-4}$
Полиамид	1700	1,06	$7{,}8\cdot10^{-5}$
Поликарбонат	2300	1,20	$6{,}5\cdot10^{-5}$
Армидное волокно	100000	1,45	$-2\cdot10^{-6}$
Стеклопластик	5000	2,1	$6{,}6\cdot10^{-6}$
Сталь	200000	7,8	$1{,}3\cdot10^{-5}$
ПЭНП	200–300	0,92	$(1–2{,}5)\cdot10^{-4}$
ПЭСП	400–700	0,93	$(1–2{,}5)\cdot10^{-4}$
ПЭВП	1000	0,95	$(1–2{,}5)\cdot10^{-4}$
ПВХ-пластик	60	1,3	$1{,}5\cdot10^{-4}$

При изготовлении ОК могут быть использованы равноценные материалы и изделия различных производителей, что предусматривается техническими условиями на производство конкретного типа ОК.

8.4.4.3. Материалы для изготовления оболочек ОК

Приведенные в табл. 8.9 сравнительные характеристики полимерных материалов, используемых для изготовления ОК, основаны на усредненных данных материалов общего применения. Характеристики могут быть иными при применении специальных композиций полимеров.

Полиэтилен, широко используемый для изготовления оболочек ОК материал, получают в результате полимеризации этилена. В зависимости от способа полимеризации различают несколько видов полиэтиленов:

- ПЭНП – полиэтилен низкой плотности (в отечественной литературе преимущественно именуется «полиэтилен высокого давления») характеризуется высокими электрическими свойствами;
- ПЭВП – полиэтилен высокой плотности (в отечественной литературе преимущественно именуется «полиэтилен низкого давления»), полученный полимеризацией в присутствии металлоорганических катализаторов, характеризуется высокими механическими свойствами и худшими, по сравнению с ПЭНП, электрическими свойствами;
- ПЭСП – полиэтилен средней плотности обладает промежуточными характеристиками по сравнению с ПЭНП и ПЭВП.

Таблица 8.9

Сравнительные характеристики полимерных материалов

Характеристика	Полимерные материалы				
	ПЭНП	ПЭВП	ПВХ	ПА	ПУ
Стойкость к окислению	+++	+++	+++	+++	+++
Стойкость к высоким температурам	++	+++	++++	+++	++
Стойкость к нефтепродуктам	++++	++++	+	+++	++
Гибкость при низких температурах	+++	+++	–/+	++	++
Стойкость к атмосферным воздействиям	+++	+++	++++	+++	++
Стойкость к воздействию озона	+++	+++	+++	+++	+++
Абразивная стойкость	++	+++	+++	++++	++++
Электрические характеристики	+++	+++	+++	–	–
Стойкость к горению	–	–	+++	–	–
Стойкость к воздействию радиации	++++	++++	+	+++	++
Водопоглощение	+++	+++	+++	–/+	–/++
Стойкость к воздействию кислот	++++	+++	++++	–/+	+
Стойкость к воздействию щелочей	++++	+++	++++	+++	+
Стойкость к воздействию бензина, керосина и других алифатических гидрокарбонатов	+++++	+++++	–	++	–/++
Стойкость к воздействию растворителей	++	++	–/+	+++	–/++

П р и м е ч а н и е. ПВХ – поливинилхлоридный пластикат; ПА – полиамид; ПУ – полиуретан; оценка свойств: «–» – низкая, «+» – средняя, «++» – хорошая, «+++» – высокая, «++++» – превосходная.

Для изготовления оболочек ОК применяют полиэтиленовые композиции, в которые вводят различные компоненты, способствующие повышению стойкости материала к старению, к солнечной радиации и др. В частности, повышение стойкости полиэтилена к солнечной радиации чаще всего обеспечивается введением газовой сажи в объеме около 3 %, в связи с чем наружные полиэтиленовые оболочки ОК имеют преимущественно черный цвет.

Одним из недостатков полиэтилена является его горючесть, поэтому ОК с полиэтиленовыми оболочками используются только для наружной прокладки. Применять их для кабелей, прокладываемых внутри зданий, в коллекторах и туннелях, нельзя по соображениям пожаробезопасности. Разрывная прочность полиэтилена составляет 10–12 МПа, относительное удлинение при разрыве 400–500 %, температура плавления 110–130 °С.

Полиэтиленовые композиции, обладающие стойкостью к распространению горения, получают преимущественно за счет введения в них достаточно большого объема (до 50 %) тригидрооксида алюминия $Al(OH)_3$. При воздействии температуры свыше 200 °С тригидрооксид алюминия разлагается на негорючую окись алюминия Al_2O_3 и воду (в виде водяных паров), благодаря чему температура падает, а концентрация горючих паров и кислорода уменьшается. Оптические кабели с такими оболочками относятся к категории кабелей с оболочками, не распространяющими горение, и предназначены для прокладки в туннелях, коллекторах и внутри зданий.

Поливинилхлоридный пластикат применяется преимущественно для изготовления оболочек станционных ОК, так как обеспечивает нераспро-

странение горения и позволяет изготавливать оболочки ОК высокой гибкости. К недостаткам материала относится возможность миграции пластификаторов в другие элементы конструкции, выделение, при воздействии пламени, дыма и хлора с последующим образованием удушающих газов и паров соляной кислоты из-за взаимодействия выделяющегося при горении хлора с влагой воздуха. Как правило, рабочий диапазон температур ОК с оболочками из ПВХ-пластиката составляет от минус 10 до 70 °С. При более низких температурах жесткость материала резко увеличивается, при более высоких также происходит увеличение жесткости за счет улетучивания пластификаторов из материала.

Таблица 8.10

Назначение полиэтиленов

Назначение	ГОСТ, фирма-изготовитель	Марка полиэтилена
Для оболочек ОК	ГОСТ 16336-77	102-10К 153-10К 178-10К
Для оболочек внутриобъектовых ОК	Фирма Borealis	HE6067 HE6062 ME6052
Для изоляции жил	То же	FR4810
Для оболочек диэлектрических ОК, подвешенных на опорах ЛЭП (композиции, стойкие к электрокоррозии)	То же	ME6080 ME6081

Таблица 8.11

Основные технические характеристики полиэтиленов по ГОСТ 16336

Параметр	Единица измерения	Марка полиэтилена		
		102-10К	153-10К	178-10К
Плотность	г/см^3	Не нормируется		
Показатель текучести расплава	г/10 мин	0,24–36	0,21–0,39	1,05–1,95
Предел текучести при растяжении	МПа	≥ 11,3	≥ 11,3	≥ 9,3
Предел прочности	МПа	≥ 14,7	≥ 13,7	≥ 11,7
Относительное удлинение при разрыве	%	≥ 600	≥ 600	≥ 600
Стойкость к растрескиванию	ч	≥ 500	≥ 500	≥ 2,5
Стойкость к термоокислительному старению	ч	≥ 8	≥ 8	≥ 8
Стойкость к фотоокислительному старению	ч	500	500	500

Таблица 8.12

Основные технические характеристики полиэтиленов фирмы Borealis

Параметр	Единица измерения	HE6067	HE6062	HE6052	FR4810	ME6080	ME6081
Плотность	г/см^3	0,954	0,954	0,944	1,270	1,100	1,100
Показатель текучести расплава	г/10 мин	1,7	0,5	0,7	0,1	0,2	0,4
Предел прочности	МПа	20	25	25	200	20	200
Относительное удлинение при разрыве	%	800	700	700	500	400	500
Стойкость к растрескиванию	ч	1000	2000	2000	1000	1000	2000
Температура хрупкости	°С	–76	–76	–76	–35	–50	–80
Модуль упругости на изгиб	МПа	850	850	600	–	850	–
Удельное объемное сопротивление	Ом·см	10^{16}	10^{16}	10^{16}	$5\cdot10^{16}$	–	–

Полиамид (торговые названия – капрон, нейлон) применяют как дополнительное покрытие наружной оболочки ОК с целью повышения стойкости к абразивному воздействию, к химическим веществам, а также к воздействию грызунов и термитов. Оболочки из полиамида остаются гибкими при температурах от минус 40 до 90 °С, размягчение их происходит при температуре свыше 150 °С.

Полиуретаны – наиболее дорогостоящие полимеры, поэтому они редко применяются при изготовлении оболочек ОК. Они характеризуются превосходными механическими характеристиками (разрывная прочность 30–55 МПа, относительное удлинение при разрыве 400–700 %), высокой абразивной стойкостью, высокой гибкостью, стойкостью к химическим материалам, к окислению. Основная область применения – военно-полевые кабели и кабели для подвижных соединений машин и механизмов.

Характеристики некоторых полиэтиленовых композиций, используемых в конструкциях ОК связи, приведены в табл. 8.10, табл 8.11, табл 8.12.

Контрольные вопросы

1. Какие качества ВОЛС являются основными?
2. Классификация оптических кабелей.
3. Перечислите основные конструктивные элементы ОК.
4. Какие типы ОМ вы знаете? Приведите примеры конструкций ОМ.
5. Перечислите основные конструктивные элементы оптического кабеля.
6. Какой должна быть оболочка ОК?
7. Из каких материалов изготавливаются ОВ и чем они отличаются между собой?
8. Как по структуре отличаются многомодовые и одномодовые волокна?
9. Одномодовое волокно.
10. Многомодовое волокно.
11. Дисперсия оптического волокна.
12. Нелинейные характеристики.
13. Геометрические характеристики.
14. Какие материалы используются при изготовлении ОК?

9. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лекция 28

П л а н л е к ц и и

9.1. Определение понятия «надежность ЭС».
9.2. Показатели надежности ЭС.
9.3. Пути обеспечения надежности ЭС.
9.4. Методы резервирования.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [1, 10, 19, 37, 40, 41].

9.1. Определение понятия «надежность ЭС»

Современные ЭС отличаются повышенными показателями надежности. Однако создание таких ЭС требует применения современных технологий проектирования, и в первую очередь технологии надежностного проектирования ЭС.

В соответствии с ГОСТ 27.002.83 **надежность – это свойство ЭС выполнять заданные функции в течение заданного времени при заданном воздействии внешних факторов.**

9.2. Показатели надежности ЭС

Показатели надежности характеризуют свойства безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости ЭС. Номенклатура группы показателей надежности приведена в ГОСТ 27.002.83 – «Надежность в технике. Термины и определения».

Показатели безотказности характеризуют свойства ЭС сохранять работоспособность в течение заданного времени или заданной наработки.

Показатели долговечности характеризуют свойства ЭС сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технологического обслуживания и ремонтов.

Показатели ремонтопригодности характеризуют свойства ЭС, заключающиеся в ее приспособленности к обнаружению причин нарушения работоспособности и их устранению (т. е. восстановлению) путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Показатели сохраняемости характеризуют свойства ЭС сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования.

Анализ отказов современных ЭС 4-го и 5-го поколений показывает, что значительная часть их отказов обусловлена деградационными процессами, т. е. вполне определенными физическими, механическими, механофизичес-

кими, химическими и другими процессами, протекающими в тех или иных компонентах ЭС и вызывающих отказ.

9.3. Пути обеспечения надежности ЭС

К основным деградационным процессам, протекающим в ЭС относят: механическое разрушение, интерметаллизацию, электромиграцию, электротепловой пробой, плавление, старение.

Механическое разрушение. Большая доля отказов ЭС происходит из-за нарушения электрической цепи вследствие механических разрушений: обрыв проводника, нарушение целостности металлизации. Механизм разрушения, а также долговечность материала определяются постепенным накоплением локальных дефектов: вакансий, дислокаций, пластических деформаций и микротрещин в материале.

Интерметаллизация. Часто нарушения контактов разнородных металлов происходит в результате образования интерметаллических соединений или фазовых превращений в зоне контакта. В процессе работы ЭС, в результате необратимых изменений, увеличивается электрическое сопротивление, а также возможен обрыв сварных соединений.

Электромиграция. В результате прохождения постоянного тока повышенной плотности через проводник происходит перенос массы металла. Электромиграция может привести к нарушению целостности металлизации, образованию «бугорков», приводящих к пробою защитных пленок и короткому замыканию многоуровневой металлизации.

Электротепловой пробой. Основным механизмом короткого замыкания в диодных и транзисторных структурах является электротепловой пробой. Локальный разогрев за счет концентрации тока и рассеиваемой энергии в некоторой области полупроводниковой структуры, увеличение градиентов электрического потенциала и температуры во время работы полупроводникового прибора обусловлены дефектами металлизации, плохим соединением кристалла с корпусом и случайными перегрузками. Коррозия приводит к необратимым разрушениям твердых тел, вызываемым физико-химическим взаимодействием с внешней средой, сопровождаемым окислительными и восстановительными реакциями на границах раздела «материал – среда».

Плавление. При значительном уменьшении сечения токоведущих проводников и большом токе возможно их плавление.

Старение материалов – изменение физико-химических и механических свойств и структуры материалов при эксплуатации и длительном хранении.

Характерные недостатки разработки ЭС (рис. 9.1) связаны с тем, что при проектировании электрических схем не в полной мере учитываются свойства и особенности современной элементной базы, обладающей повышенными динамическими характеристиками, расширенным диапазоном рабочих частот, высоким быстродействием и высокими коэффициентами усиления при повышенной чувствительности к факторам, снижающим надежность изделий электронной техники (ИЭТ).

Кроме того, повторяющиеся нарушения технологического процесса монтажа ИЭТ на печатные платы приводят к превышению на них электрических, тепловых и механических воздействий, к другим нарушениям технологического процесса производства аппаратуры, в том числе дефектам многослойных печатных плат.

Для исключения внезапных отказов, связанных с возникновением коротких замыканий и электрических пробоев из-за выбросов напряжения на обмотках реле, в устройствах автоматики широко применяются шунтирующие диоды и стабилитроны. Вследствие этого повысилась вероятность возникновения параметрических отказов из-за изменения временных характеристик (времени срабатывания и отпускания) релейно-диодных схем, что приводит к отказам устройств автоматики и требует повышенного внимания.

С повышением плотности монтажа цифровых микроэлектронных устройств, снижением питающих напряжений интегральных схем (ИС) и применением многослойных печатных плат повышается вероятность возникновения отказов сбойного характера, что приводит к временной потере работоспособности и выдаче ложной информации. Поэтому необходимо обеспечение устойчивости цифровых устройств к возникновению внутренних помех, вызывающих отказы сбойного характера.

На рис. 9.2 приведено распределение причин отказов ЭС, обусловленное вышеуказанными недостатками их разработки, производства и эксплуатации. Необходимо отметить, что в течение последних лет поток повторяющихся недостатков и нарушений при разработке и производстве аппаратуры не уменьшается и соотношение между причинами отказов ЭС, приведенное на рис. 9.2, практически не меняется. Это свидетельствует о том, что головные предприятия по надежности, отраслевые центры анализа отказов и предприятия промышленности не уделяют должного внимания работам по предотвращению причин возникновения характерных повторяющихся отказов ЭС.

Недостатки, снижающие надежность ЭС	**Характеристика тенденции изменения чувствительности ИЭТ к воздействиям**
Нарушение режимов применения ИЭТ	
Низкая эффективность защиты ИЭТ от электрических перегрузок	
Низкое качество электроэнергии по цепям питания	
Недостаточная помехоустойчивость РЭС	
Неотработанность типового технологического процесса и его нарушения	
Превышение технологических воздействий на ИЭТ	
Низкая эффективность технологических тренировок составных частей РЭС	
Недоиспытанность составных частей РЭС	

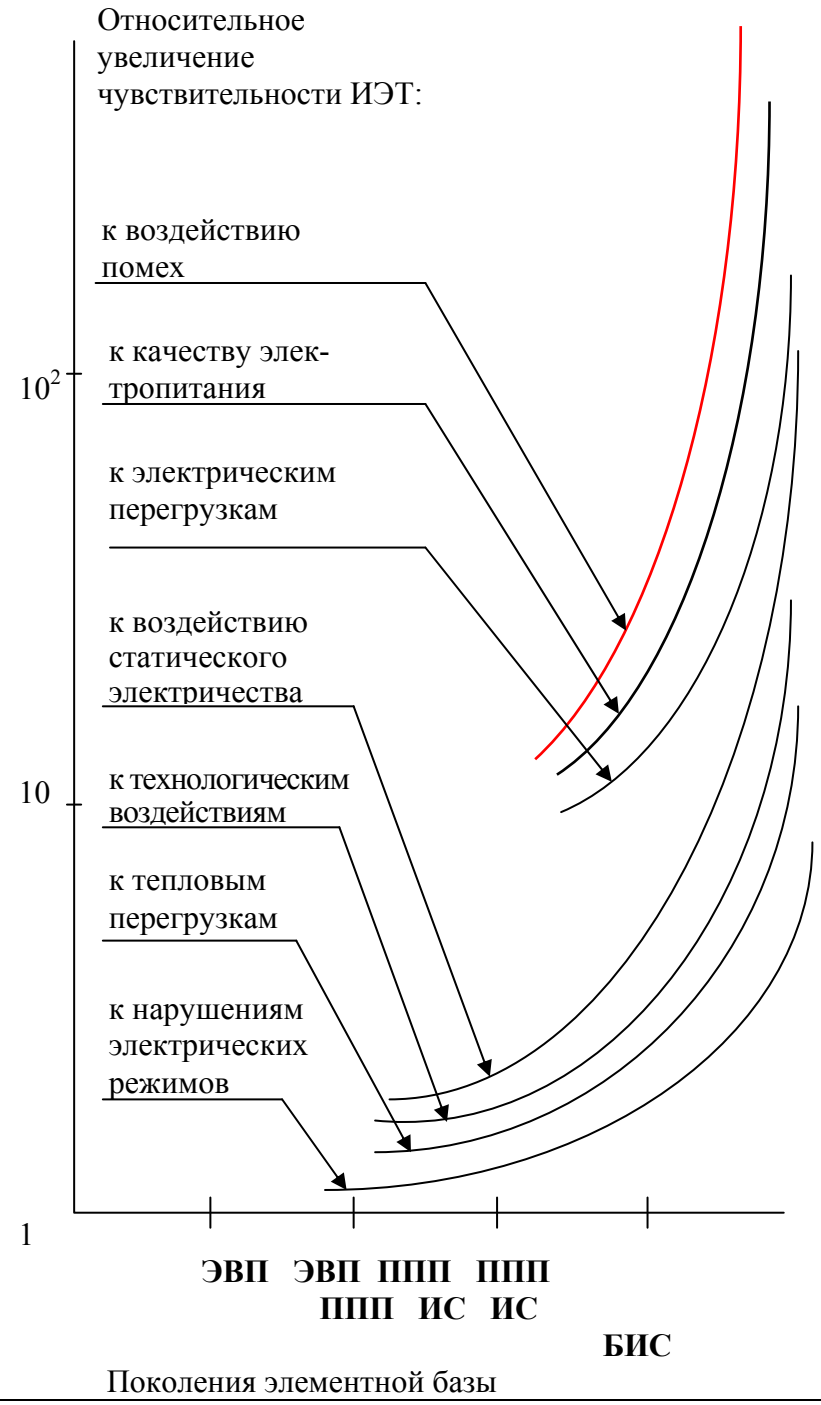


Рис. 9.1. Недостатки, снижающие надежность ЭС,
и характеристика относительного увеличения чувствительности ИЭТ
к воздействию факторов, снижающих их надежность

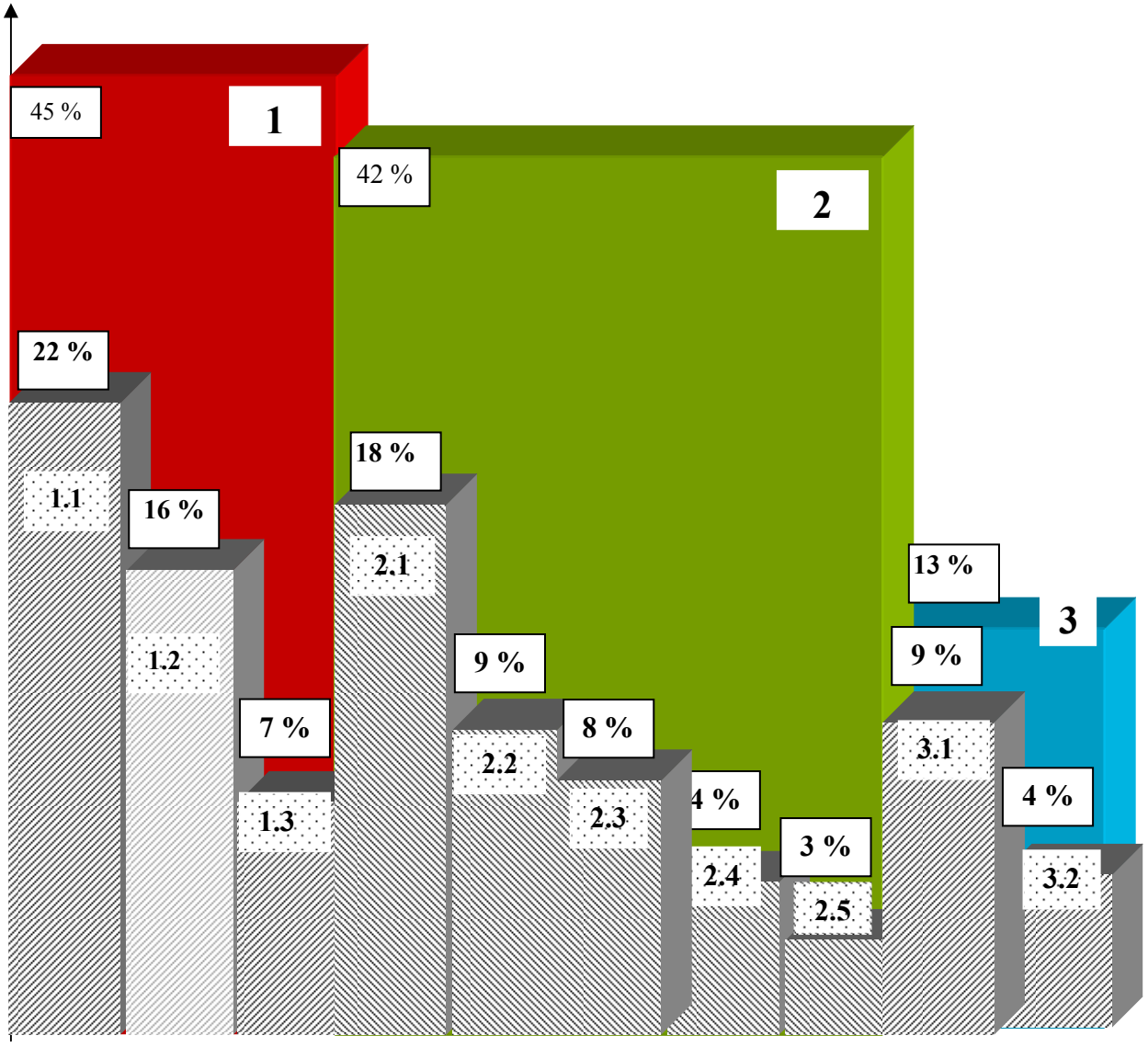


Рис. 9.2. Распределение отказов ЭС по причинам их возникновения: ***1* – схемно-конструкционные отказы:** 1.1 – недостатки схемно-конструктивных решений; 1.2 – нарушение НТД по применению ИЭТ; 1.3 – недостатки отработки КД и ТД; ***2* – производственно-технологические отказы:** 2.1 – нарушение техпроцесса монтажа ИЭТ; 2.2 – недостатки изготовления многослойных печатных плат; 2.3 – недостатки регулировки и настройки ЭС; 2.4 – недостатки КИА и технологического оборудования; 2.5 – внесение дефектов в ИЭТ на входном контроле; ***3* – эксплуатационные отказы:** 3.1 – нарушение правил эксплуатации ЭС; 3.2 – несовершенство эксплуатационной документации

Характерные недостатки разработки аппаратуры, обусловливающие основную часть ее схемно-конструкционных отказов, состоят в следующем:

1. Недостаточные взаимоувязка и стыковка параметров функционально связанных между собой составных частей аппаратуры, и особенно параметров СВЧ-приборов и СВЧ-трактов, из-за неоптимально установленных на них норм и недостаточных конструктивно-технологических запасов.

2. Недостаточные объемы моделирования и макетирования принимаемых схемно-технических и конструкционных решений и низкий уровень их выполнения, что приводит к большому количеству доработок аппаратуры, необходимости многочисленных изменений конструкторской документации на всех стадиях жизненного цикла ЭС (разработки, изготовления, эксплуатации и утилизации).

3. Недостаточный объем отработки аппаратуры в комплексе в части стыковки и настройки приборов и блоков, выявления и устранения взаимовлияния различных типов аппаратуры на объекте установки.

4. Неэффективная защита входных цепей схем и ИЭТ от электрических перегрузок, возникающих в системах электроснабжения объектов установки из-за неучета требований основополагающих нормативно-технических документов (НТД) к качеству электропитания в ТЗ и ТУ на аппаратуру.

5. Нарушения электрических и тепловых режимов работы ИЭТ в аппаратуре, применение их в условиях, не предусмотренных ТУ на них, вследствие недостаточной глубины анализа электрических схем и конструкции ЭС при их разработке, использования при расчетах упрощенных моделей и методов, которые не позволяют учесть все необходимые особенности режимов и условий эксплуатации изделий в аппаратуре.

6. Пониженная помехоустойчивость блоков и устройств аппаратуры, а также возбуждение и генерация ряда узлов ЭС из-за неоптимальной разводки металлизации на печатных платах, использования навесных проводников, жгутов, неправильного выбора корректирующих цепей и цепей развязывающих фильтров.

7. Критичность схем узлов и блоков аппаратуры к изменению параметров ИЭТ в пределах норм ТУ на них, несогласованность параметров узлов и блоков между собой и с параметрами ИЭТ.

Таблица 9.1

Основные пути обеспечения надежности ЭС

Стадии ЖЦ ЭС	Мероприятия
Разработка ТЗ	Обоснование и выбор показателей надежности, установление уровня надежности (по всем свойствам надежности) с учетом модели эксплуатации аппаратуры
Разработка	Использование надежностно-ориентированной САПР. Обеспечение малой чувствительности изделий к изменению условий производства и воздействию внешних факторов. Обеспечение производственных и эксплуатационных запасов изделий. Проработка вопросов стыковки изделий с устройствами (узлами) ЭС. Определение оптимальных условий и режимов применения изделий. Экспериментальная оценка эффективности принятых конструктивных и технологических решений методами граничных и провоцирующих испытаний и средствами физико-технического анализа. Выбор принципа действия, обеспечивающего простоту структуры. Выбор рациональных форм избыточности и резервирования.

Продолжение табл. 9.1

Стадии ЖЦ ЭС	Мероприятия
	Использование модульных принципов конструирования и других прогрессивных методов. Применение высоконадежных ЭРИ. Облегчение режимов работы и условий применения ЭРИ. Применение схем, выходные параметры которых малочувствительны к изменениям параметров ЭРИ. Анализ проектных решений с помощью САПР для выявления нерациональных и потенциально ненадежных решений. Экспериментальный углубленный анализ режимов и условий работы ЭРИ с учетом возможных разбросов и уходов их параметров, изменений характеристик элементов конструкции. Анализ критичности возможных видов отказов и их последствий. Всесторонняя проверка схемных и конструктивных решений при испытаниях на надежность и других видах испытаний. Углубленный анализ выявленных причин отказов и корректировка схемных и конструктивных решений
Производство	Введение статконтроля и статистического регулирования технологического процесса. Привязка дефектов и отказов, обнаруженных на всех стадиях производства изделия, к партии. Повышение требований к гигиене производства. Введение аттестации технологического процесса по точности, настроенности и стабильности. Аттестация системы качества при заказе (потребителем). Применение провоцирующих испытаний с целью отбраковки изделий со скрытыми дефектами. Введение глубокого физико-технического анализа дефектных изделий. Аттестация процессов производства и сертификация систем качества. Диагностический входной контроль покупных ЭРИ, составных частей и материалов. Технологические и отбраковочные испытания составных частей и аппаратуры в целом. Проведение периодических испытаний на надежность, как правило, ускоренными методами. Анализ причин отказов, рекламационная работа с поставщиками и потребителями, корректировка конструкции, техпроцесса, системы контроля качества
Приемка готовой продукции	Введение гибкого приемочного контроля по качественным признакам. Повышение достоверности контроля за счет использования информации из сферы производства. Выбор режимов испытаний, ориентированных на выявление отказов. Введение испытаний на комплексное воздействие внешних факторов

Окончание табл. 9.1

Стадии ЖЦ ЭС	Мероприятия
Эксплуатация	Введение входного контроля с использованием электрофизических методов и электротермотренировки. Обеспечение облегченных режимов работы. Защита от недопустимых технологических воздействий, от воздействия внешних факторов и электроперегрузок. Организация предремонтного и углубленного физико-технического анализа отказывающих изделий. Контроль за соблюдением требований нормативной документации при хранении, монтаже, вводе в строй и эксплуатации. Организация подконтрольной эксплуатации с целью получения достоверных данных о наработке, отказах, проведение оперативных доработок, оценка достаточности запасных частей и др. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта

Методы обеспечения надежности ЭС направлены в основном на повышение качества их разработки, изготовления и исключение недопустимых внешних воздействий при их эксплуатации. Основные направления и пути решения этих задач перечислены в табл. 9.1, где приведены основные элементы системы обеспечения надежности ЭС, включающие в себя комплекс организационно-технических мероприятий, выполняемых на всех стадиях ЖЦ аппаратуры, а также мероприятия, которые должны находиться в центре внимания служб надежности и контроля качества предприятий, специалистов маркетинговых служб предприятий-потребителей.

9.4. Методы резервирования

Наиболее распространенным методом обеспечения надежности является **резервирование – применение некоторых дополнительных (избыточных по сравнению с минимально необходимыми для обеспечения работоспособности объекта) средств**.

Такими дополнительными средствами могут быть:

- резервные элементы, включаемые в структуру объекта;
- резервные возможности в выполнении элементом своих функций (например, использование коммутационного устройства, рассчитанного на коммутацию токов 100 А, для цепей с током 50 А);
- резерв времени, выделяемый для выполнения заданных функций (например, использование вычислительных средств, позволяющих решать поставленную задачу за время меньшее, чем допустимое по условиям его работы в составе системы управления);
- резерв информации, применяемый для восстановления полезной информации в случае ее искажения или потери при преобразовании и передаче.

Резервирование по виду используемых средств может быть *структурным, функциональным, временным, информационным*.

Рассмотрим структурные виды резервирования.

Структурное резервирование состоит в применении резервных элементов структуры объекта. Фактически включение резервных элементов в структуру объекта – своеобразная автоматизация процесса замены отказавшего элемента.

Из многочисленных способов структурного резервирования можно выделить:

- *общее резервирование*: резервируется весь объект в целом (рис. 9.3, *а*);
- *раздельное резервирование*: резервируются отдельные элементы объекта (рис. 9.3, *б*);
- *постоянное резервирование*: резервные элементы участвуют в функционировании объекта наравне с основными (рис. 9.3, *в*);
- *динамическое резервирование*: резервные элементы подключаются в структуру объекта только при отказе основных (рис. 9.3, *г*);
- *нагруженное резервирование*: резервный элемент находится в том же режиме работы, что и основной;
- *ненагруженное резервирование*: резервный элемент не несет нагрузки.

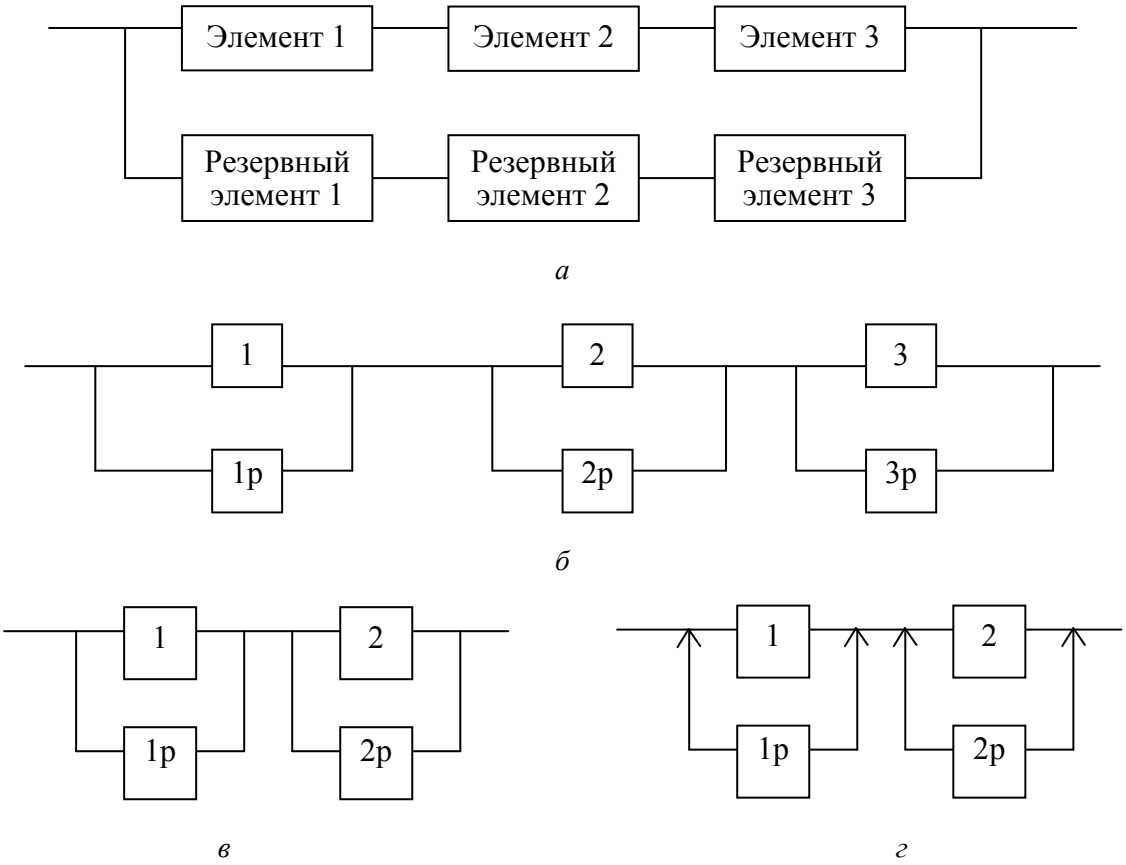


Рис. 9.3. Основные схемы резервирования

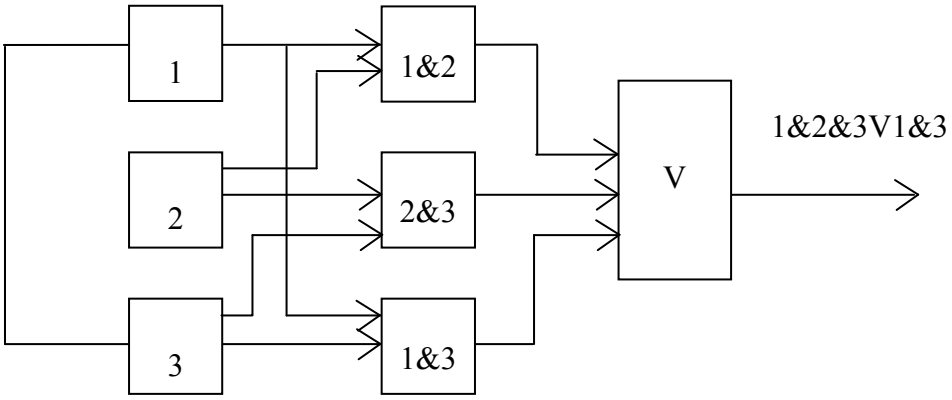


Рис. 9.4. Схема мажоритарного резервирования

Реализация схем динамического резервирования (рис. 9.3, *г*) может быть различной. Однако практически всегда необходимо устройство, осуществляющее подключение резервного элемента и отключение отказавшего элемента.

При резервировании устройств обработки информации используют так называемые мажоритарные формы резервирования. На рис. 9.4 приведен пример простейшей из них – мажоритарное резервирование по принципу «два из трех», при котором результат работы резервированного объекта считается верным, если совпадают результаты работы не менее двух из трех содержащихся в объекте устройств.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «надежность ЭС».
2. Перечислите показатели надежности ЭС.
3. Критерии сохраняемости.
4. Что такое восстанавливаемость?
5. Что такое безотказность?

10. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лекция 29

П л а н л е к ц и и

10.1. Характеристика вида защищенности ЭС.
10.2. Герметизация ЭС.
Л и т е р а т у р а: [1, 24, 40, 41].

10.1. Характеристика вида защищенности ЭС

Для обеспечения надежности функционирования ЭС необходима влаго- и пылезащита. Основной защитой ЭС от влаги и пыли является герметизация.

В процессе производства, хранения и эксплуатации ЭС могут подвергаться воздействию влаги, содержащейся в окружающем пространстве, внутренней среде гермоблоков, материалах конструкций, а также в используемых при изготовлении ЭС материалах (электролитах, травителях, моющих средствах). На работающую аппаратуру воздействуют пары влаги окружающего воздуха или какой-либо иной газовой среды, в которой эксплуатируется аппаратура. Возможна конденсация водяных паров на холодных поверхностях конструкции как внутри аппаратуры, так и снаружи. Выпадение росы (конденсация) вызывается понижением температуры, которое практически всегда имеет место при отключении и последующем хранении аппаратуры.

При длительном воздействии высокой влажности металлические конструкции подвергаются коррозии, органические материалы – набуханию и гидролизу. Продуктом гидролиза являются органические кислоты, разрушающие органические материалы и вызывающие интенсивную коррозию металлических несущих конструкций.

Существенно влияние влажности на электрические соединения. При повышенной влажности корродируют проводники, на разъемных контактах появляются налеты, ухудшающие их качество, отказывают паяные соединения, особенно если они загрязнены. Слоистые диэлектрики, поглощая влагу, меняют свои параметры и характеристики. Образование на печатных платах водяной пленки приводит к снижению сопротивления изоляции диэлектриков, появлению токов утечки, электрическим пробоям, механическим разрушениям (поломкам, разрывам, заклиниванию) вследствие набухания-высыхания материала. Из-за поглощения влаги значительно уменьшается электрическая прочность, что особенно сказывается на работоспособности высоковольтных узлов, вызывая их возгорание.

Загрязненность воздуха пылью значительно снижает надежность ЭС. Пыль, попадая в смазочные материалы и прилипая к скользящим поверхностям деталей электромеханических узлов, приводит к ускоренному их износу.

Под воздействием пыли изменяются параметры и характеристики магнитных лент, дискет, магнитных головок, царапается и приходит в негодность магнитный слой. Пыль в зазорах контактов препятствует замыканию контактов реле. Оседающая на поверхности некоторых металлов пыль опасна ввиду своей гигроскопичности, поскольку уже при относительно небольшой влажности пыль существенно повышает скорость коррозии. Пыль, имеющая в своем составе электролит, поглощает влагу из воздуха, многократно усиливая коррозию. Пыль с поглощенными ею растворами кислот разрушает достаточно быстро даже очень стойкие краски.

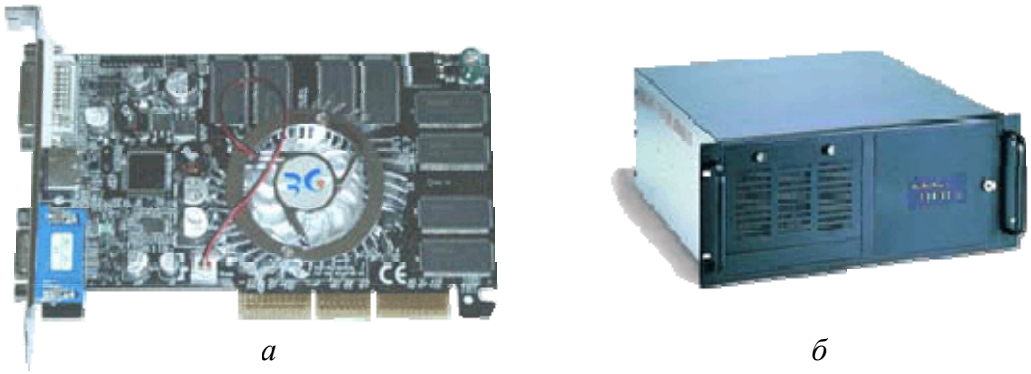
Оседающая в изделии пыль препятствует естественному движению воздуха, снижает эффективность охлаждения изделия, образует на поверхностях ПП, не защищенных лаковым покрытием, токопроводящие перемычки между проводниками.

Применяются различные способы защиты ЭС от пыли и влаги, в зависимости от их назначения:

- полная герметизация изделий ЭС;
- частичная герметизация ЭС;
- создание избыточного давления (для защиты от влаги и пыли) и т. д.

Пыленепроницаемость ЭС или отдельных ее устройств может быть достигнута установкой их в герметичные корпуса. Однако при этом возрастает стоимость ЭС, ухудшается температурный режим работы. Если корпус ЭС выполнен с перфорациями, пыль вместе с охлаждающим воздухом проникает внутрь ЭС естественным путем либо, при принудительном воздушном охлаждении, вместе с воздушными потоками от вентиляторов. Таким образом, применение корпуса с вентиляционными отверстиями для охлаждающего воздуха приводит к проникновению пыли внутрь изделия. Уменьшить попадание пыли внутрь ЭС возможно установкой на вентиляционные отверстия мелкоячеечных сеток, созданием соответствующей чистоты воздуха внутри помещений, где эксплуатируется ЭС.

Влажность воздуха играет большую роль в борьбе с негативным влиянием воздействия пыли. С повышением относительной влажности выше 70 % пыль коагулирует, не поднимается слабыми движениями потоков воздуха и не прилипает на элементы конструкции. Поэтому рекомендуется регулярное влажное протирание полов в залах вычислительных центров, при этом моющие средства не должны выделять паров, которые могут вызывать коррозию металлов.



а *б*

Рис. 10.1. Примеры применения вентиляторов в ЭС: *а* – видеокарта; *б* – корпус с вентиляционным отверстием и вентилятором

Для устранения проникновения загрязненного воздуха из других помещений в машинных залах вычислительных центров создается избыточное давление в 1–1,5 мм рт. ст. Используемые в помещениях строительные, отделочные, шумопоглощающие и изоляционные материалы не должны быть источником пыли. Для предотвращения попадания в помещения запыленного воздуха с улицы оконные проемы должны быть герметичными.

10.2. Герметизация ЭС

Герметизация узлов, блоков и шкафов ЭС является надежным средством защиты от воздействия влажности и вредных веществ окружающей среды, пыли, изменения барометрического давления. Хотя МС и ЭРЭ поставляются герметичными, часто в процессе эксплуатации ЭС влага все же проникает внутрь корпусов компонентов, изменяя свойства материалов, вызывая короткие замыкания.

Герметизация зависит от вида изделия, поэтому способы герметизации применяются разные для каждого вида изделия.

Модули первого уровня защищают *покрытием лаком, заливкой эпоксидной смолой, пропиткой, особенно моточных изделий, опрессовкой герметизирующими компаундами.*

Компаундом называется композиция на основе органических (смол, битумов, масел) или неорганических (алюмофосфатов, металлометафосфатов) веществ. Герметизация компаундами улучшает электроизоляционные и механические характеристики модуля. Однако низкая теплопроводность большинства компаундов ухудшает отвод теплоты, ограничивает или делает невозможным ремонт, внутренние напряжения могут нарушить целостность деталей и электрических соединений.

Полная герметизация блоков и шкафов путем *помещения в герметичный кожух* является самым эффективным способом защиты, но и самым дорогим. При этом возникает необходимость в разработке специальных корпусов, прокладок, способов герметизации внешних электрических соединителей, выходов жгутов, элементов управления и индикации. В условиях вакуума стенки герметизируемых изделий должны противостоять значитель-

ным усилиям из-за разницы давлений внутри и снаружи изделия. В результате увеличения жесткости конструкции возрастает ее масса и размеры. Применение полной герметизации может потребовать введения в конструкцию клапана-регулятора для снижения давления внутри корпуса.

Герметизация блоков, содержащих бескорпусные микросхемы и микросборки (МСБ), осуществляется с целью предотвращения воздействия внешних климатических факторов на бескорпусные компоненты, входящие в состав микросхем и МСБ.

Для создания наиболее благоприятного микроклимата внутри герметичного корпуса блока он через откачную трубку заполняется инертным газом или смесью газов с избыточным давлением не более $12 \cdot 10^4$ Па. Как правило, для этого используют сухой азот, который по своим тепловым характеристикам приравнивается к воздуху.

Герметичность блоков обеспечивается герметизацией корпусов и внешних электрических соединителей, которые устанавливаются на лицевой или задней панели корпуса.

Герметизация корпусов блоков может осуществляться *сваркой основания и крышки корпуса блока* с помощью паяного демонтируемого соединения корпуса (основания) с крышкой (кожухом) блока и с помощью уплотнительной прокладки (рис. 10.5). Выбор способа герметизации определяется требованиями, предъявляемыми к блокам в зависимости от условий эксплуатации, габаритными размерами (объемом) блока, а также материалами корпуса и основания блока.

Герметизация сваркой применяется для блоков объемом не более 0,5 $дм^3$, не подлежащих ремонту. Вскрытие таких блоков возможно только путем механического снятия сварного шва. Это приводит к попаданию металлической пыли на бескорпусные компоненты и может вызвать их отказ. Этот способ широко используется для герметизации корпусов микросхем и МСБ и обеспечивает натекание не более $1{,}33 \cdot 10^{-10}$ $дм^3 \cdot Па/с$.

Герметизация с помощью паяного демонтируемого соединения применяется для блоков, объем которых составляет 0,5–5,0 $дм^3$. Этот способ обеспечивает натекание $5H = 1{,}33 \cdot 10^{-7}$ $дм^3 \cdot Па/с$, что гарантирует работоспособность блока в течение 12 лет.

Конструктивные элементы герметизации корпусов блоков паяным соединением приведены на рис. 10.2. К элементам паяного соединения конструкции блока предъявляются следующие требования: для устранения перегрева блока во время пайки между корпусом *1* и крышкой *2* вблизи паяного соединения вводится тепловая канавка *5*. Прокладка *3* прямоугольного сечения изготовляется из термостойкой резины; размеры сечения прокладки определяются расчетным путем; диаметр проволоки *4* должен быть меньше ширины зазора между крышкой и корпусом на 0,1–0,2 мм.

В паяном соединении проволока над прокладкой укладывается по всему периметру соединения. Один конец проволоки через паз в крышке выводится из зоны соединения (обычно он укладывается в тепловую канавку). Расстояние по всему периметру соединения заполняется легкоплавким при-

поем, как правило, ПОС-61. Паяное соединение позволяет осуществлять демонтаж (вскрытие корпуса) блока до трех раз.

Для предотвращения нарушения герметичности блока наружная поверхность паяного соединения не должна являться установочной поверхностью блока и все элементы крепления блоков должны располагаться на максимально возможном расстоянии от паяного соединения.

Герметизация с помощью уплотнительных прокладок (рис. 10.3) применяется для блоков, объем которых превышает 3 дм^3, так как блоки меньших размеров герметизировать данным способом нецелесообразно из-за больших потерь на элементы крепления.

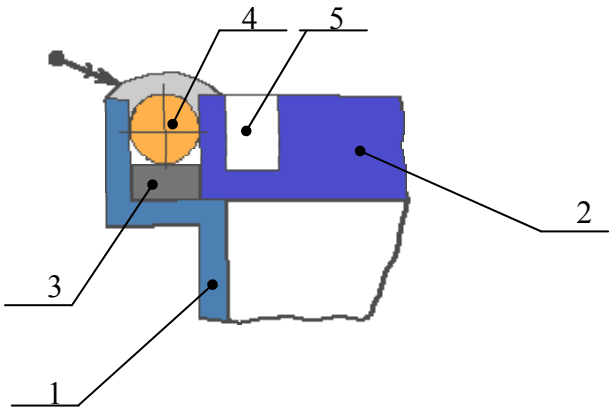


Рис. 10.2. Герметизация корпуса с помощью паяного соединения: *1* – корпус; *2* – крышка; *3* – прокладка; *4* – проволока; *5* – тепловая канавка

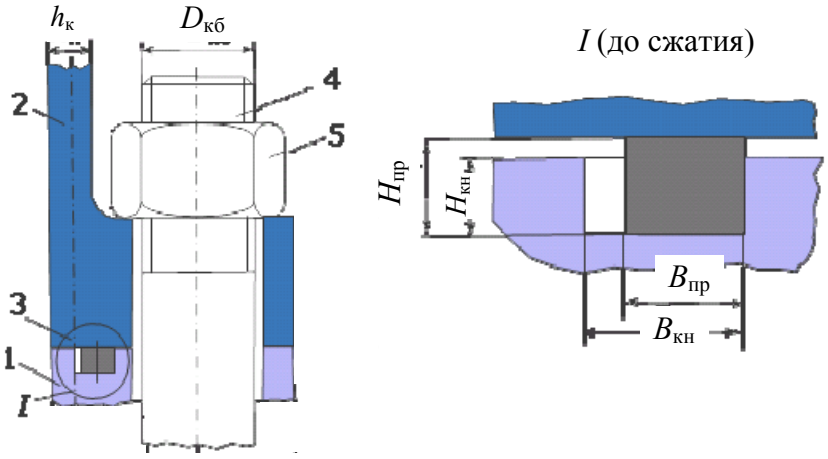


Рис. 10.3. Герметизация корпуса блоков с помощью уплотнительной прокладки: *1* – основание блока; *2* – корпус блока; *3* – уплотнительная прокладка; *4* – болт; *5* – гайка

Широко применяются *упругие уплотнительные прокладки*, устанавливаемые между крышкой и корпусом блока (рис. 10.4). При поджатии они уплотняют стык корпуса с крышкой. Утечка газа через уплотнение при сжатии прокладки на 25–30 % от ее первоначальной высоты происходит только за счет диффузии. Бóльшие усилия при сжатии не рекомендуются, поскольку из-за интенсивного старения прокладка быстро выходит из строя. Форма по-

перечного сечения прокладки может быть различной. Прямоугольные прокладки просты в изготовлении, легки в использовании, способны обеспечить воздушную герметизацию габаритных изделий, но не защищают их от воздействий водяных паров. Давление между крышкой и корпусом получается низким, поскольку прокладка легко деформируется под воздействием стяжных винтов.

В качестве материала прокладок используют резину, обладающую высокой эластичностью, податливостью и способностью проникать в мельчайшие углубления и неровности. Большие крышки требуют высокой жесткости и большого числа стяжных винтов с мелкой резьбой и для надежной герметизации изготавливаются на токарных станках.

Размеры конструктивных элементов (см. рис. 10.3) выбираются в зависимости от герметизируемого объема и избыточного давления, создаваемого в нем.

Ширина фланца

$$B_{ф} = 2h_{к} + 2{,}6D_{к.б},$$

где $h_{к}$ – толщина стенки корпуса (кожуха); $D_{к.б}$ – диаметр крепежного болта.

Высота фланца $H_{ф}$ должна быть максимально допустимой.

Материал болтов должен иметь предел текучести в 2 или 3 раза выше предела текучести материала фланца.

Размеры канавки и прокладки находятся в следующей зависимости:

$$B_{кн}H_{кн} \approx 1{,}15\ B_{пр}H_{пр}, \qquad (10.1)$$

где $B_{кн}$ и $H_{кн}$ – ширина и высота канавки; $B_{пр}$ и $H_{пр}$ – ширина и высота прокладки.

Длина плеча

$$L_{пл} = 1{,}5h_{к} + 1{,}1D_{к.б}. \qquad (10.2)$$

Число болтов и шаг их установки определяются с учетом внутреннего избыточного давления в блоке и усилия, необходимого для деформации уплотнительного кольца для герметизации блока.

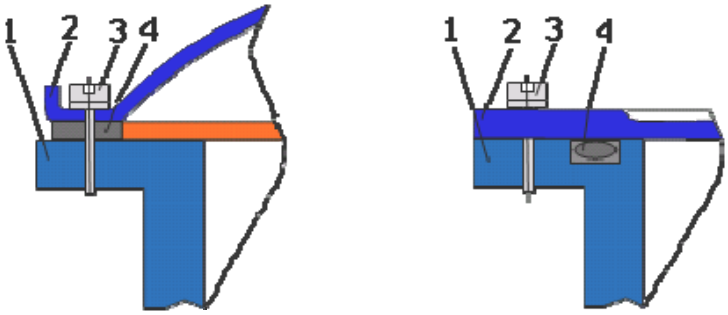


Рис. 10.4. Герметизация упругой (резиновой) прокладкой:
1 – корпус; *2* – крышка; *3* – винт; *4* – прокладка

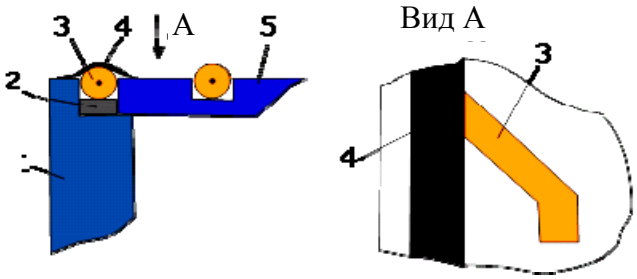


Рис. 10.5. Герметизация паяным швом и проволокой:
1 – корпус; *2* – прокладки; *3* – проволока; *4* – припой; *5* – крышка

При эксплуатации аппаратуры в условиях сверхнизкого вакуума, больших давлений, высоких температур органические материалы применять запрещается, рекомендуется использовать металлы, керамику, стекло. При этом необходимо учитывать, что источниками влаги могут оказаться литые конструкции и конструкции, полученные экструзией, ввиду пористости их поверхности. В порах влага, грязь, жиры скапливаются и проникают в герметизируемые объемы. Чтобы этого не происходило, подобные конструкции в вакууме пропитывают эпоксидной смолой.

Если температура внутри герметизируемых изделий ниже температуры окружающей среды, то при высокой влажности внутри изделия влага будет конденсироваться, вызывая отказы. Вертикальной ориентацией плат и электрических соединителей обеспечиваются естественные пути отвода влаги в поддон изделия. Чтобы с конструкции легко скатывалась влага, поверхность ее должна быть гладкой. Избежать ловушек влаги, например, в углах несущих конструкций, где горизонтально ориентированные элементы конструкции сочленяются с вертикальными, можно выполнением отверстий диаметром 5–7 мм. Влага из поддона сливается либо испаряется.

Постоянства относительной влажности в определенных пределах внутри герметичного аппарата можно добиться введением внутрь изделия веществ, активно поглощающих влагу. Однако они впитывают влагу до определенного предела. Например, силикагель поглощает около 10 % влаги от своей сухой массы. При этом относительная влажность внутри аппаратуры не превышает 80 %.

В особых случаях в качестве материалов прокладок применяют медь и нержавеющую сталь с алюминиевым или индиевым покрытием. Такие прокладки чаще всего выполняются трубчатыми с внешним диаметром 2–3 мм при толщине стенок 0,1–0,15 мм. Усилие поджатия при герметизации металлическими прокладками составляет 20–30 кг на 1 см длины прокладки. Желобок в крышке и корпусе изделия в поперечном сечении должен быть в форме эллипса. При расчете герметизации определяется усилие поджатия прокладки, затем вычисляются усилия затягивания и количество стяжных винтов.

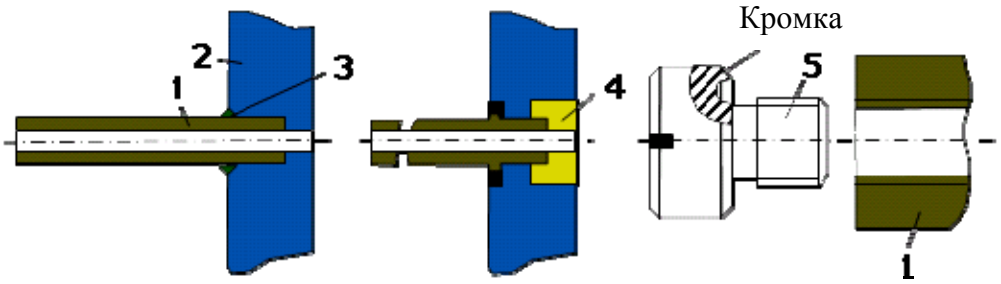
При герметизации внутренний объем герметизируемой аппаратуры заполняется инертным газом (аргоном или азотом) с небольшим избыточным давлением. Поскольку атмосфера земли в большинстве своем содержит азот, то при заполнении герметизируемого изделия сухим азотом свойства газа внутри изделия будут практически подобны свойствам воздуха. Закачка газа внутрь корпуса осуществляется через клапаны-трубки.

Входные и выходные клапаны-трубки следует размещать на противоположных сторонах корпуса. Продувка азотом обеспечивает очистку полости корпуса от водяных паров. На рис. 10.6, *а*, *б* представлены трубки-клапаны *1*, которые сварным швом *3* привариваются к корпусу *2* или заливаются компаундом *4*, затем защемляются. Защемленная часть трубки при разгерметизации изделия срезается и при необходимости повторно защемляется. Более удобна герметизация винтом *5* с острой кромкой, врезающейся при заворачивании в мягкий материал трубки-клапана *1* (рис. 10.6, *в*).

Элементы управления и индикации герметизируются резиновыми чехлами, мембранами, электрические соединители – установкой на прокладки (рис. 10.7, *а*), заливкой компаундами (рис. 10.7, *б*), выходы жгутов – резиновыми зажимными шайбами (рис. 10.7, *в*).

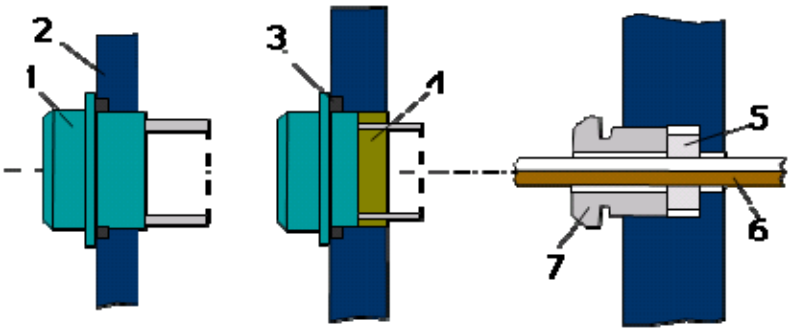
Выбор способа герметизации определяется условиями эксплуатации, применяемыми материалами и покрытиями, требованиями к электрическому монтажу.

Межблочная электрическая коммутация в герметичных блоках осуществляется с помощью герметичных соединителей типа РСГ или врубных соединителей типа РПС1 с обеспечением их герметизации. Однако номенклатура существующих электрических соединителей широкого применения не обеспечивает потребности разработчиков герметичной МЭА, поэтому они часто проектируют специальные электрические соединители с учетом типовых требований к металлостеклянным спаям.



а б в

Рис. 10.6. Трубки-клапаны откачки воздуха: *1* – трубка-клапан; *2* – корпус; *3* – сварной шов; *4* – компаунд; *5* – винт



а б в

Рис. 10.7. Виды герметизации: *а*, *б* – соединителя; *в* – выхода жгута; *1* – соединитель; *2* – корпус; *3* – прокладка; *4* – компаунд; *5* – зажимная шайба; *6* – жгут; *7* – втулка

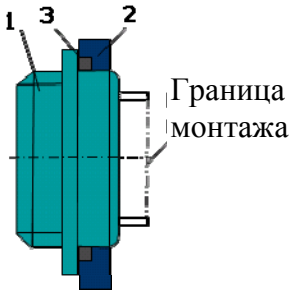


Рис. 10.8. Герметизация вилки соединителя РСГ с помощью уплотнительной прокладки: *1* – вилка разъема; *2* – корпус блока; *3* – уплотнительная прокладка

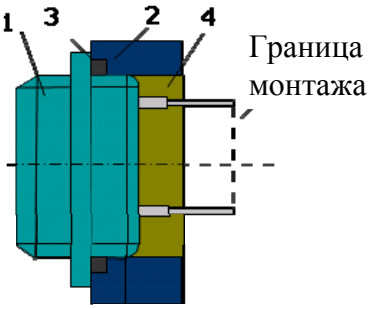


Рис. 10.9. Герметизация вилки разъема РСГ с помощью уплотнитель-ной прокладки и компаунда: *1* – вилка разъема; *2* – корпус блока; *3* – уплотнительная прокладка; *4* – компаунд

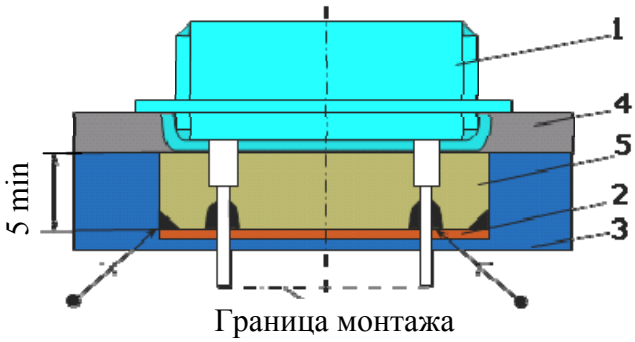


Рис. 10.10. Герметизация вилки разъема РСГ опайкой платы и заливкой компаундом: *1* – вилка разъема; *2* – монтажная плата; *3* – корпус блока; *4* – прокладка; *5* – компаунд

Способы герметизации электрических соединителей широкого применения в герметичных блоках иллюстрируют рис. 10.8, рис. 10.9, рис.10.10.

Монтажная плата, используемая для герметизации, должна иметь металлизированную поверхность по всему периметру с двух сторон и по торцу.

При герметизации с использованием компаунда выводы электрических соединителей должны удлиняться путем припаивания жесткой проволоки.

Выбор способа герметизации электрических соединителей определяется требованиями, которые предъявляются к блокам в условиях эксплуатации, с учетом материалов и покрытий элементов конструкции корпусов блоков.

Герметизация и конструкции специальных электрических соединителей, герметизируемых с помощью металлостеклянных соединений, имеют ряд специфических особенностей, поэтому данный вопрос следует рассмотреть подробнее.

Металлостеклянные соединения, которые используются при проектировании микросхем, МСБ и герметичных блоков ЭС, можно подразделить на глазковые, дисковые, окошечные и плоские. *Глазковые соединения* применяются при изготовлении цоколей реле, оснований корпусов микросхем и МСБ, гермовводов, металлических ножек электровакуумных приборов, вилок штепсельных электрических соединителей и подобных изделий. *Дисковые соединения* применяются при изготовлении многоконтактных токовых вводов, вилок электрических соединителей, узлов электровакуумных приборов, оснований корпусов. *Окошечные соединения* применяются при изготовлении окон резонаторов, высокочастотных фильтров и смотровых окон приборов, необходимых для визуального контроля. *Плоские соединения* применяются при изготовлении оснований металлостеклянных корпусов микросхем и МСБ с прямоугольным сечением выводов.

Среди металлостеклянных соединений в зависимости от используемых материалов можно выделить согласованные и несогласованные (сжатые) спаи. Под согласованными спаями понимаются соединения, в которых коэффициенты температурного расширения (КТР) спаиваемых материалов (стекло – металл обоймы) равны или мало отличаются по значению. Под несогласованными спаями понимаются соединения, в которых КТР спаиваемых материалов (стекло – металл обоймы) резко отличаются в интервале температур от комнатной до температуры размягчения стекла. Поэтому при проектировании отдельных узлов ЭС необходимо большое внимание уделять выбору материалов и, соответственно, их взаимному сочетанию.

Лекция 30

План лекции

10.3. Классификация покрытий.
10.3.1. Свойства металлических покрытий.
10.3.2. Свойства окисных покрытий.
10.3.3. Свойства диффузионных покрытий.
Литература: [24, 43, 44, 47].

10.3. Классификация покрытий

При выборе материала для конструкции ЭС, наряду с такими факторами, как обрабатываемость, прочность и др., к числу наиболее значимых относится способность материала к нанесению на него покрытия.

В ряде случаев оказывается более выгодным не использовать специальные материалы, а применять покрытие, обеспечивающее соответствующее свойство. Кроме этого применение покрытий обязательно для большинства металлических (алюминий, сталь) и ряда неметаллических материалов.

В общем случае поверхность материала при нанесении покрытия может приобрести следующие свойства:

- повышенную твердость;
- повышенную износостойкость и устойчивость против трения;
- устойчивость против потускнения;
- кислотощелочестойкость;
- декоративность и внешнюю привлекательность;
- определенную отражательную способность;
- теплостойкость;
- повышенную долговечность;
- легкость полировки;
- лучшую способность к креплению;
- изменение электропроводности.

Взаимное соотношение свойств детали и покрытия представлено на рис. 10.11.

<table>
<tr><td rowspan="10">Деталь</td><td colspan="2">Функциональное назначение</td><td rowspan="10">Покрытие</td></tr>
<tr><td colspan="2">Условия эксплуатации</td></tr>
<tr><td colspan="2">Влияние последующих операций
(механическая, термическая обработка)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Материал</td></tr>
<tr><td>Состояние, структура,
способ изготовления</td><td>Физико-химические свойства</td></tr>
<tr><td>Габариты, форма</td><td>Характеристика покрываемости</td></tr>
<tr><td>Состояние поверхности,
шероховатость</td><td>Совместимость с материалом
сопрягаемой детали</td></tr>
<tr><td colspan="2">Взаимное влияние детали и покрытия</td></tr>
<tr><td colspan="2">Оборудование для покрытия</td></tr>
<tr><td colspan="2">Экология</td></tr>
<tr><td colspan="2">Стоимость</td></tr>
</table>

Рис. 10.11. Взаимное соотношение свойств детали и покрытия

Виды покрытий по назначению:

защитные предназначаются для защиты основного материала от коррозии, старения, высыхания, гниения и других процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя (Rz 40);

защитно-декоративные используются для защиты от вредного воздействия окружающей среды изделий, требующих красивой внешней отделки (Ra 2,5);

специальные придают поверхности детали особые свойства или защищают от влияния особых сред (Ra 1,25).

Даже в относительно несложных конструкциях ЭС используются различные материалы. Коррозия протекает более интенсивно при контактировании материалов с существенно различными электрохимическими потенциалами. Металл с отрицательным потенциалом гальванической пары будет разрушаться тем быстрее, чем больше разница их электрохимических потенциалов.

Таблица 10.1

Электрохимические потенциалы металлов

Металл	Потенциал, мВ	
	Пресная вода	Морская вода
Серебро	+194	+149
Медь	+140	+10
Никель	+118	+46
Алюминий	–169	–667
Олово	–175	–807
Свинец	–283	–259
Сталь	–350	–335
Кадмий	–574	–519
Цинк	–823	–284

Электрохимические потенциалы металлов в пресной и морской воде приведены в табл. 10.1.

Если по тем или иным причинам невозможно заменить металлы с высокой разницей электрохимических потенциалов, то на них наносятся защитные покрытия.

Виды защитных покрытий по материалу. Различают следующие виды защитных покрытий:

- металлические;
- неметаллические неорганические;
- лакокрасочные.

Металлические покрытия образуют с основным материалом детали контактную пару. В зависимости от полярности потенциала различают покрытия анодные и катодные. Покрытия называют *анодными*, если электрохимический потенциал металла покрытия меньше электрохимического потенциала детали: ЭХПп < ЭХПд. *Катодные* покрытия имеют обратное соотношение: ЭХПп > ЭХПд.

При коррозии может разрушаться как основной металл детали, так и покрытие. Причиной разрушения является наличие в покрытиях пор, повреждений в виде сколов, царапин, трещин, возникающих в процессе эксплуатации. Разрушение будет тем интенсивнее, чем больше разница электрохимических потенциалов между основным металлом и покрытием. При анодном покрытии вследствие коррозии разрушается само покрытие, основной материал детали не подвергается разрушению. При катодном покрытии – наоборот.

В качестве материалов металлических покрытий наибольшее распространение получили *цинк, хром, никель, олово* и *серебро*. Толщина покрытия выбирается в зависимости от материала и способа нанесения покрытия. Для улучшения защитных и специальных (механические, улучшение способности к креплению и т. д.) свойств покрытий применяются многослойные покрытия из разных металлов.

Неметаллические неорганические покрытия – окисные пленки.

Оксидирование – получение окисной пленки на стали, меди и ее сплавах, алюминии и его сплавах. Такое покрытие имеет хороший внешний вид, антикоррозионные свойства, но непрочно и микропористо. Последнее свойство покрытия позволяет использовать его как грунт под окраску.

Окисные пленки могут быть получены химическим способом, анодированием и фосфатированием.

Полученное *химическим способом* покрытие менее прочно, чем покрытие металлическое. Образующаяся при этом защитная пленка химически пассивна, устойчива, имеет хороший декоративный вид. Толщина покрытия обычно составляет 1–15 мкм.

Анодирование – декоративное покрытие алюминия и его сплавов электрохимическим способом. Защитная пленка химически устойчива, обладает высокими электроизоляционными свойствами, надежно защищает от коррозии, пористо.

Фосфатирование – процесс образования на стали защитной пленки с высокими антикоррозионными и электроизоляционными свойствами, хорошей адгезией. Получаемое покрытие пористо и недостаточно прочно.

Лакокрасочные покрытия защищают детали от коррозии. Как недостаток следует отметить низкие механическую прочность и термостойкость таких покрытий. Этот вид покрытия применяется для окрашивания каркасов, кожухов, лицевых панелей приборов и т. п. Эстетичный внешний вид изделия обеспечивается многослойным окрашиванием. Толщина лакокрасочного покрытия колеблется от 20 до 200 мкм.

Способы получения покрытий (для металлических и неметаллических неорганических):

- гальванический;
- химический;
- анодизационный;
- горячий;
- диффузионный;
- напыление;
- металлизационный.

Гальванический способ нанесения покрытия, как наиболее распространенный, не указывается в КД.

К *преимуществам* процессов электрохимической металлизации (гальванический способ) по сравнению с химическими методами относятся бóльшая скорость процесса (химическое меднение – 2–4 мкм/ч, гальваническое – 100–130 мкм/ч), более низкая себестоимость покрытия из-за пониженного расхода химикатов, значительно меньшие сбросы вредных веществ. При гальванической металлизации легче нанести покрытия с заданными свойствами, с нужными физико-механическими характеристиками.

К *недостаткам* гальванической металлизации по сравнению с химической относятся меньшая равномерность толщин покрытий, особенно на сложнопрофилированных деталях, необходимость установки в токопроводах.

Виды покрытий по условиям эксплуатации. Согласно ГОСТ 15150 имеется 8 групп покрытий в зависимости от климата и категории исполнения:

группа 1:
все исполнения категории 4.1, кроме У и Т;
категории 4, 4.2 для УХЛ (ХЛ), ТС;
категории 3, 3.1 для У, УХЛ (ХЛ), ТС;
категория 2.1 для У, УХЛ (ХЛ);
группа 2:
категории 1.1, 2.3 для ТС;
категория 2.1 для ТВ, Т, О;
категории 3, 3.1 для ТВ, Т;
категории 4, 4.2 для ТВ, О, М, ТМ, ОМ, В;
группа 3:

категории 1 для ТС;
категории 1, 1.1, 2.3 для У, УХЛ (ХЛ);
группа 4:
категория 1.1 для ТВ, Т, О, М, ТМ, ОМ, В;
группа 5:
категория 1 для У, УХЛ (ХЛ);
категории 1, 2 для ТВ, Т, О;
категория 3 для Т;
группа 6:
категория 1, 2, 2.1, 3, 3.1 для М, ТМ, ОМ;
группа 7:
категория 1 для ТВ, Т, О;
категории 5, 5.1 для всех исполнений;
группа 8:
категории 1, 2 для М, ТМ, ОМ, В.

Обозначение покрытий на чертежах устанавливает ГОСТ 9.306.

1. *Способ обработки поверхности основного материала*. Этот параметр указывается при необходимости:

Мт – матирование;
Хп – химическая полировка;
Ж – обработка под жемчуг;
Хим. Пас. – химическое пассирование.

2. *Способ получения* (Хим., Окс. и т.д.);

3. *Материал* (для металлических), тип пленки (для пленок):

Окс – оксидная;
Фос – фосфатная.

Условные обозначения материалов:

Алюминий – А	Никель – Н	Радий – Р
Бронза – Бр	Олово – О	Свинец – С
Золото – Зл	Олово-свинец – О-С (40)	Серебро – Ср
Кадмий – Кд	Палладий – П	Хром – Хр
Латунь – Л	Платина – Пл	Цинк – Ц
Медь – М	Припой – ПОС-61	

4. *Функциональные свойства*:

тв – твердое;
эиз – электроизоляционное;
э – электропроводное.

5. *Декоративные свойства*:

зк – зеркальное; м – матовое; мол. – молочное; б – блестящее; ч – черное; ри – рисунчатое; пб – полублестящее.

6. *Толщина покрытия*:

для обычных металлов, полученных гальваническим, химическим способами и напылением, из ряда: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60. Толщины менее 1 мкм не указываются;

для драгоценных металлов, полученных теми же способами: 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12;

для металлов, полученных горячим или металлизационным способами: 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60;

для Хим.Окс, Ан.Окс, Гор., Хч, Нч не нормируется.

7. *Дополнительная обработка*:

хр. – хроматирование;

фос. – фосфатирование;

прм. – пропитка маслом;

нв. – наполнение водой.

10.3.1. Свойства металлических покрытий

Цинковое покрытие имеет серебристо-белый цвет, применяется как защитное от коррозии в атмосферных условиях эксплуатации для сталей. Обладает средней твердостью, выдерживает изгибы и развальцовку, хорошо сохраняется при свинчивании.

На прочность стальных деталей влияет отрицательно из-за обезуглероживания поверхности. Стали с пределом прочности более 140 МПа цинком не покрывают. Не пригодно для деталей, работающих на трение и в вакууме. Способно растворяться в кислых и щелочных средах.

Рабочие температуры – от минус 70 до 250 °С. При температурах выше 250 °С становится хрупким. Не применяется для деталей толщиной менее 0,5 мм, так как они становятся хрупкими.

Не применяется для изделий с последующей сваркой.

Для получения светопоглощающих покрытий на стали, меди и ее сплавах применяют цинк черного цвета.

Для улучшения защитных свойств применяют дополнительную обработку – хроматирование и фосфатирование.

Хроматирование улучшает декоративность. Цвет такого покрытия радужный с зеленоватым, желтым или золотистым оттенком. Применяется для деталей, работающих во влажной атмосфере, для деталей, подвергающихся окраске.

Фосфатирование увеличивает стойкость к внешним воздействиям, но мало влияет на прочность.

Шероховатость поверхности – Ra 6.3.

Кадмиевое покрытие применяется для защиты деталей, эксплуатируемых в среде, насыщенной морскими испарениями, и в морской воде. Анодное по отношению к стали. Покрытие имеет серебристо-белый цвет, мягкое, эластичное. Хорошо паяется, допускает сварку. Хорошо сохраняется в резьбовых соединениях. Кадмиевые покрытия применяют для деталей из

стали, меди и ее сплавов, требующих плотной сборки, хорошей притираемости с одновременной защитой от коррозии.

Рабочие температуры – от минус 70 до 250 °С.

Покрытие нельзя применять для деталей, находящихся в среде, содержащей соединения серы, а также в присутствии проолифленных или пропитанных высыхающими маслами изделий в закрытых приборах, особенно герметичных.

Для увеличения коррозионной стойкости деталей покрытия оксидируют и фосфатируют, однако это снижает токопроводность.

Кадмиевое покрытие применяется в исключительных случаях, так как кадмий и продукты его коррозии токсичны.

Шероховатость поверхности – Ra 6.3.

Никелевое покрытие применяется как защитное, защитно-декоративное и специальное покрытие для стальных, медных и алюминиевых деталей, контактных пружин и токопроводящих деталей из меди и медных сплавов. Является катодным к стали, алюминию и цинку.

Имеет серебристо-белый цвет с желтоватым оттенком, легко полируется. По декоративным свойствам различают матовое, блестящее и черное.

Покрытие плотное, выдерживает изгибы, запрессовку, однако возможно отслаивание при расклепке и развальцовке. По твердости покрытие уступает хромовым и приближается к закаленным сталям.

Микротвердость блестящего покрытия 4400–4900 МПа, химического – до 11 000 МПа. Никель, осажденный химическим способом, более износостоек.

В атмосфере, загрязненной газами, покрытие тускнеет.

Шероховатость поверхности: для защитных покрытий – Ra 3.2, для защитно-декоративных – Ra 1.6.

Хромовое покрытие применяют для защитно-декоративной отделки деталей и повышения износостойкости. Катодное по отношению к стали, алюминию, цинку. Одно из самых твердых покрытий: микротвердость 7400–10800 МПа (твердое), 2900–3400 (молочное, твердое). Обладает низкой пластичностью и высоким внутренним напряжением растяжения. Легко разрушается под действием концентрированных ударных нагрузок. Хорошо выдерживает равномерно распределенную нагрузку.

При хромировании имеет место наводороживание стали, что снижает предел выносливости материала детали.

Покрытие износостойкое, антифрикционное. Отличается высокой коррозионной стойкостью в окислительной атмосфере, в том числе в среде серосодержащих соединений. Неустойчиво в среде глоидоводородных соединений.

Хром стоек в термическом отношении, не тускнеет при температурах 400–500 °С.

Обладает высокой декоративностью. Позволяет обеспечить для блестящих покрытий высокий стабильный коэффициент отражения (≈ 70 %).

Черное покрытие обладает высокими светопоглощающими свойствами (96–97 %), стойкое в вакууме, однако плохо работает на трение.

Хромовое покрытие пористое. Это позволяет хорошо удерживать смазку в трущихся соединениях. Из-за пористости для повышения защитных свойств необходимо применять многослойные покрытия с более плотными подслоями, например медь – никель – хром.

Низкая рассеивающая способность электролита не позволяет гальванически покрывать сложнопрофилированные детали. При этом способность хрома отлагаться преимущественно на остриях в виде крупных кристаллов делает его чрезмерно хрупким и легко скалываемым. Для покрытия поверхностей сложной формы применяют только химические покрытия.

Покрытие не паяется (плохая смачиваемость припоями), не сваривается.

Медное покрытие применяют как специальное для улучшения электропроводности (электростатические немагнитные экраны), паяемости, в качестве подслоя под покрытие никелем, хромом, оловом. Обладает хорошей адгезией. Применяется как искрогасящее покрытие. Катодное по отношению к стали, алюминию, цинку, магнию.

Как правило, в качестве самостоятельного не применяется.

Пластично, имеет низкие внутренние напряжения.

Устойчиво к углероду и его соединениям при высоких температурах, поэтому используется для защиты от науглероживания при цементации сталей.

Неустойчиво в химическом отношении – к продуктам старения органических материалов. Склонно к потускнению на воздухе и быстрому окислению даже при незначительном нагревании.

Имеет высокий коэффициент диффузии в другие материалы, поэтому используется для снижения переходного сопротивления. С низкотемпературными оловянно-свинцовыми припоями может образовывать интерметаллиды, резко снижающие паяемость и качество паяных соединений.

В качестве подслоя под другие покрытия может приводить к негерметичности сварных соединений.

Как самостоятельное применяется покрытие медно-оловянным сплавом (40 % олова) – белой бронзой.

Покрытие применяется как защитно-декоративное и вместо серебрения элементов волноводной аппаратуры (волноводных трактов). Покрытие имеет серебристый цвет, не тускнеет под действием сернистых соединений.

Коррозионно-устойчиво, хорошо выдерживает действие щелочей и слабых органических кислот. Износоустойчиво, повышает контактную стойкость сталей. По твердости уступает хрому, но превосходит никель.

Термостойкость порядка 200 °С. Устойчиво в вакууме. Отражательная способность около 60 %.

Не выдерживает опрессовку в полимерные материалы.

Оловянное покрытие является катодным по отношению к стали в атмосферных условиях и анодным во многих органических средах. Обладает стойкостью к серосодержащим соединениям, пригодно под заформовку в любые пластмассы и резины.

Покрытие мягкое, связь с основным материалом хорошая, допустима пластическая деформация деталей.

Рабочая температура – до 200 °С.

Оловянно-свинцовое покрытие наносится гальваническим методом.

Характеризуется высокой коррозионной стойкостью в обычной и морской средах. Устойчиво в среднесернистых соединениях.

Обладает хорошим сцеплением с основным материалом, эластично, выдерживает изгибы, развальцовку, вытяжку, штамповку. Сохраняется на резьбе при свинчивании деталей. Обладает антифрикционными свойствами.

По паяемости превосходит все остальные покрытия, уступая припою ПОС-61, наносимому горячим способом. Оплавленные покрытия имеют лучшие эксплуатационные характеристики, для сохранения паяемости рекомендуется консервация флюсами типа ФКЭт. Подслой никеля обеспечивает получение надежных паяных соединений.

Припой ПОС-61 наносится горячим способом. По характеристикам аналогичен электрохимическому покрытию О-С (60), но обладает лучшей паяемостью.

Серебряное покрытие. Покрытия благородными металлами рекомендуются для снижения переходного сопротивления и повышения поверхностной электропроводности.

Серебряное покрытие применяется для токонесущих контактирующих деталей, работающих при трении (контактное давление 0,25–2,5 Н), для деталей СВЧ-устройств.

Лучшее покрытие по электропроводности и теплопроводности.

Покрытие имеет белый цвет и обладает высоким коэффициентом отражения (до 95 %).

Покрытие ограниченно стойко: с хлором, аммиаком, серой, фенольными соединениями взаимодействует, образуя неэлектропроводную и затрудняющую пайку пленку.

Твердость и износостойкость низкие (микротвердость покрытия 900–1300 МПа, со временем снижается до 560 МПа), связь с основой и пластичность высокие. Хорошо полируется.

Золотое покрытие отличается высокой коррозионной стойкостью во всех средах. Хорошо работает в герметичных объемах, в вакууме. Обеспечивает стабильное контактное сопротивление.

Выдерживает запрессовку в полимерные материалы.

Хорошо паяется, сваривается, но с оловянно-свинцовыми припоями образует хрупкие интерметаллические соединения, растворяясь в припое.

Имеет невысокие твердость и сопротивление износу в условиях сухого трения, низкий износ в вакууме и минимальный коэффициент трения.

Палладиевое покрытие применяется для контактных пар, работающих в режиме замыкания-размыкания, для придания поверхностной проводимости и износостойкости. Обеспечивает стабильное контактное сопротивление при температурах до 300 °С.

Микротвердость 1000–2500 МПа.

Покрытие стойко в атмосферных условиях и к сернистым соединениям, в контакте с органическими материалами не рекомендуется. В среде водорода применение недопустимо, так как способно поглощать большие объемы водорода, что приводит к охрупчиванию и отслоению покрытий.

Растворяется в оловянно-свинцовых припоях с образованием хрупких интерметаллических соединений. Снижает механические свойства тонкостенных деталей.

10.3.2. Свойства окисных покрытий

Анодно-окисное покрытие применяется как защитное, защитно-декоративное и специальное для алюминия, магния, титана и их сплавов. Пленка прочно сцепляется с основным материалом детали и может служить хорошим грунтовочным материалом.

Покрытия маслонаполненные гидрофобизированные имеют более высокую коррозионную стойкость.

Анодно-окисные покрытия имеют пористое строение и сравнительно высокую твердость, но на прочность детали влияют отрицательно, снижая последнюю на 5–10 %. Твердые покрытия износостойки. Микротвердость 2000–5000 МПа.

При анодировании деталей размеры увеличиваются приблизительно на половину толщины покрытия, шероховатость возрастает в 2–4 раза.

В декоративных целях производят окраску – наполнение анилиновыми красителями.

Покрытие по магниевым сплавам атмосферостойко, стойко в неагрессивных минеральных маслах, промасливание улучшает свойства.

Покрытие по титану существенно повышает износостойкость материала, устраняет налипание, обеспечивая свинчивание резьбовых соединений.

Покрытие типа «Аноцвет» износостойко, но хрупко, на гранях склонно к скалыванию. Микротвердость 1700–2000 МПа, рабочая температура до 499 °С. Цвет покрытия – белый, зеленый, серо-черный, в зависимости от применяемого электролита.

Химическое окисное покрытие представляет собой окисную пленку, полученную в растворах щелочей, кислот, солей. Применяется для стали, меди и алюминия.

Защитные свойства покрытия при промасливании улучшаются.

Поверхности с покрытиями не подвергаются пайке и сварке. Покрытие не наносится на изделия, имеющие паяные швы.

Покрытие имеет декоративное свойство – черный и сине-черный цвет (воронение).

Химическая окисная пленка применяется для получения токопроводящего покрытия на алюминии.

10.3.3. Свойства диффузионных покрытий

Данный вид покрытия связан с диффузией в поверхностный слой основного материала детали металлического или неметаллического диффузанта. К настоящему времени получены диффузионные покрытия на металлических, неорганических (графит, кварц, стекло, керамика) и органических (пластмассы, ткани и т. д.) материалах.

Цементация – насыщение поверхности стали углеродом. Содержание углерода в исходном металле до 0,3 %. После цементации обязательна закалка и низкий (200 °С) отпуск. При этом поверхностный слой (около 1 мкм) приобретает твердость, износостойкость закаленной стали, а сердцевина остается мягкой и вязкой.

Цементацию применяют для упрочнения стальных шестерен и других трущихся деталей.

Азотирование – насыщение азотом поверхности стали, легированной переходными металлами (хромом, алюминием, титаном, вольфрамом, молибденом), способными образовывать нитриды. Процесс протекает при 500–650 °С. Закалка не требуется. Получают твердый, износостойкий слой глубиной 0,1–0,3 мм, одновременно повышаются коррозионная стойкость и усталостная прочность изделий.

Цианирование – одновременное насыщение стали углеродом и азотом. В зависимости от режима обработки свойства поверхностного слоя приближаются к цементированным или азотированным.

Цианированные детали имеют красивую матовую поверхность, улучшающую товарный вид продукции.

Сульфацианирование – одновременное насыщение поверхности стали азотом, углеродом и серой. Придает поверхности хорошие антифрикционные свойства.

Борирование – насыщение металлической поверхности бором. Можно насыщать практически любые стали, чистое железо, никель и его сплавы. На поверхности образуется боридный слой высокой твердости и износостойкости.

Хромирование – насыщение поверхности стальных деталей хромом. Процесс производят при 1000–1050 °С.

Улучшает окалиностойкость деталей, а также коррозионную стойкость в пресной и морской воде, водяном паре, азотной кислоте.

Покрытие имеет высокую твердость, толщина покрытия 0,1–0,2 мм.

Алитирование – насыщение поверхности стали алюминием при 900–1050 °С.

Алитированные детали имеют повышенную окалиностойкость до 850–900 °С и коррозионную стойкость в ряде агрессивных сред.

Силицирование – насыщение стальных деталей кремнием при 950–1100 °С.

Придает стали высокую коррозионную стойкость в морской воде, в азотной, серной и соляной кислотах.

Слой имеет низкую твердость, но после пропитки маслом приобретает высокую износостойкость.

Лекция 31

План лекции

10.4. Лакокрасочные покрытия.
10.4.1. Структура обозначения лакокрасочных покрытий.
10.4.2. Характеристика лакокрасочных покрытий.
Контрольные вопросы.
Литература: [20, 47].

10.4. Лакокрасочные покрытия

Основное назначение лакокрасочных покрытий – обеспечение защитных свойств в нормальных или специальных условиях эксплуатации. Дополнительные функции – нужное цветофактурное решение для деталей и сборочных единиц ЭС, а также нанесение маркировок.

10.4.1. Структура обозначения лакокрасочных покрытий

Структура обозначения лакокрасочного покрытия обычно состоит из семи групп буквенно-цифровых обозначений (ГОСТ 9.032):

[1].[2]-[3][4],[5],[6],[7]

Например: Эм. ПФ-115, черный, II, УХЛ 4.

1. *Вид лакокрасочного покрытия*. Применяются следующие виды лакокрасочных покрытий.

Краска (сокращение – Кр) – суспензия пигмента с наполнителями в олифе, масле, суспензии.

Эмаль (сокращение – Эм) – суспензия пигмента с наполнителями в лаке.

Лак – раствор пленкообразующего вещества в органическом растворителе или воде.

Для улучшения сцепления с материалом несущей конструкции и выравнивания поверхности применяют соответственно *грунтовку* (сокращение – Гр) и *шпатлевку* (сокращение – Шп).

2. *Материал лакокрасочного покрытия.* Сокращенное обозначение материала определяется, как правило, наименованием смол, применяемых как основа лакокрасочного материала.

3. *Группа покрытия* определяется условиями эксплуатации. Группы покрытий представлены в табл. 10.2.

Грунтовки обозначаются цифрой 0, шпатлевки – 00.

4. *Порядковый номер разработки* – одна-две цифры.

5. *Цвет покрытия*.

6. *Класс отделки поверхности*. Характеристика классов отделки поверхности приведена в табл. 10.3.

Классы поверхности отличаются внешним видом и параметрами допустимых дефектов, таких как включения, шагрень, штрихи, риски, волнистость, разнооттеночность. Например, для класса I поверхность ровная, гладкая, однотонная. Не допускается дефектов поверхности, видимых невооруженным глазом. В классе VII количество и вид дефектов не нормируется.

Таблица 10.2

Обозначение групп покрытий

Группа	Обозначение
Атмосферостойкие	1
Ограниченно атмосферостойкие	2
Водостойкие:	4
стойкие в пресной воде и ее парах	4/1
стойкие в морской воде и ее парах	4/2
Специальные воздействия:	5
стойкие к рентгеновскому излучению	5/1
стойкие к глубокому холоду (ниже минус 60 °С)	5/2
стойкие к открытому пламени	5/3
стойкие к биологическим факторам	5/4
Маслобензостойкие:	6
стойкие к минеральным маслам	6/1
стойкие к бензину (нефтепродуктам)	6/2
стойкие к минеральным маслам и бензину	6/3
Химически стойкие	7
Термостойкие	8
Электроизоляционные	9/1
Электропроводящие	9/2

Таблица 10.3

Характеристика классов отделки поверхности

Класс покрытия	Характеристика поверхности изделия, подлежащей окрашиванию
I	Деревянные детали футляров в экспортном исполнении
II	Деревянные детали футляров ЭС и лицевые поверхности приборов (кроме экспортного исполнения), детали панелей кожухов, корпусов, каркасов, обрамлений (без сварки, клепки и втулок) и других изделий, к внешнему виду которых предъявляются повышенные требования по декоративным свойствам
III	Детали футляров и корпусов ЭС из дерева и пластмасс; лицевые поверхности приборов, к внешнему виду которых не предъявляются повышенные требования по декоративным отделкам; детали пультов управления, панелей, обрамлений (со сваркой, расклепками и втулками), ручки, планки, наружные поверхности пультов управлений. Сварные швы должны быть обработаны
IV	Поверхности с обработанными паяными и сварными швами, обработанными поверхностями литых деталей, наружные поверхности литых изделий, корпусов, кожухов, станин, каркасов, кузовов
V	Внутренние поверхности приборов, установок, каркасов, кожухов, корпусов, кузовов
VI	Поверхности антенно-мачтовых устройств, необработанных изделий, к внешнему виду которых предъявляются требования только по защитным свойствам, деревянная тара
VII	Рамы, детали, шасси, внутренние поверхности изделий с необработанными швами, к которым предъявляются требования только по защитным свойствам

Таблица 10.4

Условия эксплуатации покрытий

Категория исполнения	Условия эксплуатации покрытий				
	Климат				
	УХЛ	Т, ТВ, ТС	ОМ, М, ТМ	О	В
1	УХЛ1	Т1	ОМ1	О1	В1
2	УХЛ2	Т2	ОМ2	О2	В2
3	УХЛ3	Т3	ОМ3	В3	В3
4	УХЛ4	О4	ОМ4	О4	В4
5	В5	В5	В5	В5	В5

По внешнему виду покрытия бывают:

- гладкие однотонные (высокоглянцевые, глянцевые, полуглянцевые, матовые, глубокоматовые);
- гладкие рисунчатые (глянцевые, полуглянцевые);
- рельефные муаровые (полуматовые, матовые);
- рельефные шагреневые (полуматовые, матовые).

Степень блеска для покрытий:

высокоглянцевых – более 60 %;

глянцевых – от 50 до 59 %;

полуглянцевых – от 37 до 49 %;
полуматовых– от 20 до 36 %;
матовых – от 4 до 19 %;
глубокоматовых – до 3 %.

Требования к декоративным покрытиям для изделий различного назначения устанавливает ГОСТ 23852. В этом стандарте выделены шесть групп изделий. В группу 4 включены изделия, функционирующие в интерьерах помещений (включая производственные) в контакте с человеком (приборы, оборудование и т. д.). Для изделий этой группы установлены следующие требования к покрытиям.

Цвета красной, оранжевой, желтой, зеленой, синей зон и ахроматичные; сложные: светлые, средние, темные; малой и средней насыщенности. Число основных цветов в схеме цветового решения – не более трех – гармоничные цветовые сочетания. Сочетания цветов эквивалентные.

В общем случае класс отделки той или иной поверхности зависит от того, насколько она часто попадает в поле зрения оператора. Для основных поверхностей, определяющих внешний вид прибора, – классы II, III, IV, а для нерегулярно попадающих в поле зрения (например, задних) – IV, V.

7. *Группа условий эксплуатации* покрытия определяется климатом и категорией исполнения в соответствии с ГОСТ 15150 (табл. 10.4).

10.4.2. Характеристика лакокрасочных покрытий

1. Пентофталевые (ПФ):
ПФ-115-II-Б, Ж, Гол, Син, Кр, Черн и т.д.;
ПФ-163-II-Черн.
Не выше класса II отделки поверхности.

Глянцевые покрытия средней твердости, механически прочные. Хорошая адгезия к металлу, дереву, органическому стеклу. Наносятся любыми способами: кисть, окунание, пневмораспыление, электростатическое распыление.

2. Глифталевые (ГФ):
ГФ-245, серая, II.
Наносятся на дерево, металл с предварительной грунтовкой.

3. Меламиноалкидные (МЛ):
ЭМ МЛ-1280, под слоновую кость, I;
ЭМ МЛ-1221, зеленая, I;
ЭМ МЛ-1201, белая, I.

Глянцевые твердые, механически прочные, электроизоляционные, хорошая декоративность, хорошая адгезия к металлу.

ЭМ МЛ-1279, серо-голубая, I;
ЭМ МЛ-1290, красная, I;
ЭМ МЛ-1232, синяя, I.

Глянцевые, механически прочные, электроизоляционные, напряжение пробоя $U_{пробоя}$ = 60 кВ/мм. После 24 часов в воде $U_{пробоя}$ = 30 кВ/мм.

3а. Молотковые (МЛ):

ЭМ МЛ-165, полуглянцевая серо-голубая, II;

ЭМ МЛ-165М, полуматовая серо-голубая, II.

Хорошая адгезия к металлам. Наносятся электростатическим распылением, пневмораспылением.

4. Фенольные (ФЛ):

ЛАК ФЛ-593, светло-коричневый, III.

Глянцевые. Покрытие твердое, механическая прочность, хорошая адгезия к металлам, дереву, слоистым пластикам.

Стойкие к маслу, бензину, воде (от минус 60 до 100 °С).

Электроизоляционное $U_{пробоя}$ = 60 кВ/мм. После 24 часов в воде $U_{пробоя}$ = 20 кВ/мм. Наносятся распылением, окунанием, кистью.

5. Эпоксидные (Э, ЭП):

ЛАК Э-4100, бесцветный, IV;

ЭМ ЭП-51, серая, черная, II.

Высокая твердость, хорошая адгезия к металлам и слоистым пластикам, атмосферостойкие, водостойкие, R(OH)-стойкие. Температура до 200 °С. Наносятся распылением и кистью.

6. Полиэфирные (ПЭ):

ЛАК ПЭ-220, бесцветный, I.

Глянцевые, твердые, механически прочные, высокая адгезия к дереву. Применяются для отделки деревянных футляров.

7. Полиуретановые (УР):

ЛАК УР-231, бесцветный, II.

Высокая адгезия к металлам, слоистым пластикам, твердость. Наносятся распылением, окунанием, поливом и для ПП.

8. Нитроцеллюлозные (НЦ):

ЛАК НЦ-11-00, черный II;

ЭМ НЦ-25, разноцветная, II.

Глянцевые, механически прочные. Адгезия к металлам и силикатным стеклам, высокая декоративность. Наносятся распылением.

9. Перхлорвиниловые (ХВ):

ЭМ ХВ-518, защитного зеленого цвета, III.

Глянцевые, твердые, механически прочные, атмосферостойкие, химически стойкие, водостойкие, маслостойкие, устойчивы к температуре и морской воде.

Высокая адгезия к металлам и дереву. Наносятся распылением.

10. Сополимеры хлоридные (ХС):

ЭМ ХС-77, разноцветные, II;

ХСЛ, бесцветный, III.

Глубоко матовые, прочные, средней твердости. Высокая адгезия к металлу и дереву. Черного цвета применяется для тепловых экранов. Наносятся распылением и кистью.

11. Полиакриловые (АК):

ЛАК АК-113 бесцветный, II (применяется для алюминия и его сплавов);

ЛАК АК-113ф, бесцветный, II (применяется для алюминия, меди, бронзы, стали).

Средней твердости, маслобензостойкие. Наносятся распылением, кистью.

Примеры записи покрытий приведены в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Примеры записи покрытий по ГОСТ 9.032

Обозначение покрытия	Характеристики покрытия
Эмаль Эп-140, серая, III, У2	Покрытие серой эмалью ЭП-140 по III классу, эксплуатирующееся под навесом в условиях умеренного микроклиматического района
Эмаль ХВ-785, белая. Лак ХВ-784, IV, 7/2	Покрытие белой эмалью ХВ-785 и лаком ХВ-784 по IV классу, эксплуатирующееся при воздействии растворов кислот
Эмаль МЛ-158, без рисунка, серо-бежевая, II, У2	Покрытие серо-бежевой эмалью МЛ-158 по II классу без проявления рисунка, эксплуатирующееся под навесом в условиях умеренного микроклиматического района
Эмаль МЛ-158 «Шагрень», черная, III, У2	Покрытие черной эмалью МЛ-158 «Шагрень» по III классу, эксплуатирующееся под навесом в условиях умеренного микроклиматического района
Ц9.хр/МЛ-12, серая, III, У2	Покрытие цинковое толщиной 9 мкм, хроматированное с последующим покрытием серой эмалью (МЛ-12) по III классу, эксплуатирующееся на открытом воздухе в условиях холодного микроклиматического района
Грунтовка АК-070, желтая. Эмаль ПФ-218 ГС, зеленовато-желтая, III, У2	Покрытие зеленовато-желтой эмалью ПФ-218 ГС по III классу, эксплуатирующееся под навесом в условиях умеренного микроклиматического района
Лак УР-231 с 0,3 % красителя жирорастворимого красного Ж, Т2	Покрытие четырехслойное лаком ЭП-730, эксплуатирующееся под навесом в условиях сухого тропического микроклиматического района. Покрытие лаком УР-0,3 % красителя жирорастворимого красного Ж, эксплуатирующееся под навесом в условиях сухого тропического микроклиматического района
Эмаль ХС-744, защитная, V. ХЛ1-7/1	Покрытие защитное эмалью ХС-744 по V классу, эксплуатирующееся на открытом воздухе, загрязненном газами химическими и газами других производств, в условиях холодного микроклиматического района

Запись лакокрасочных покрытий в технических требованиях чертежа следует производить в соответствии с ГОСТ 2.310. Запись указаний о маркировании изделий в технических требованиях чертежа производится по ГОСТ 2.314.

П р и м е р ы

$$\text{«Покрытие } \frac{\text{Кдб}}{\text{Эмаль ВЛ - 515, красно - коричневая, III, 6/2. ТУ 6 – 10 – 1052 – 75}}\text{».}$$

«Покрытие лак ЭП-730, Т2.4. ГОСТ 20824–81».

«Покрытие эмаль ПФ-115, темно-серая 896, III, У1. ГОСТ 6465–76» – для покрытий, в обозначении цвета которых приводится номер эталона.

Контрольные вопросы

1. Характеристика видов защиты РЭС.
2. Основные виды герметизации.
3. Свойства, приобретаемые поверхностью материала при нанесении покрытия?
4. Какие бывают покрытия?
5. Чем отличаются лакокрасочные покрытия от металлических?

11. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Лекция 32

П л а н л е к ц и и

11.1. Характеристика видов теплопередачи.
11.2. Конвективный теплообмен.
Л и т е р а т у р а: [9, 23, 54].

11.1. Характеристика видов теплопередачи

Тепломассообмен – раздел физики, в котором рассматриваются процессы переноса теплоты (энергии) и массы (вещества).

Явления теплообмена связаны с необратимым переносом энергии из одной части пространства в другую и вызваны разностью температур, а явления массообмена обусловлены перемещением вещества из одной части пространства в другую и вызваны разностью концентраций.

Если теплообмен и массообмен сопутствуют друг другу и их приходится рассматривать во взаимосвязи, то имеет место тепломассообмен. Когда явления теплообмена и массообмена мало влияют друг на друга, их можно рассматривать порознь; иногда имеет место только какое-нибудь одно явление. Соответствующие процессы в этих случаях называют процессами тепло- и массообмена, теплообмена, массообмена.

Различают три вида переноса энергии в виде теплоты: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в сплошной среде, вызванный разностью температур.

Конвекция – процесс переноса теплоты при перемещении макроскопических объемов жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой; при этом перенос теплоты неразрывно связан с переносом вещества. Процессы конвекции сопровождаются теплопроводностью, и этот совместный процесс называется *конвективным теплообменом*.

Тепловое излучение – процесс переноса теплоты, обусловленный превращением внутренней энергии вещества в энергию излучения, переносом ее в виде электромагнитных волн и поглощением веществом.

Перенос вещества происходит с помощью диффузии и конвективного массообмена.

Диффузия – молекулярный перенос вещества в среде, вызванный разностью концентраций (концентрационная диффузия), температур (термодиффузия) или давлений (бародиффузия).

Конвективный массообмен – перенос вещества, вызванный совместным действием конвективного переноса вещества и молекулярной диффузии.

Приведем примеры, связанные с переносом теплоты и массы в природе:

теплообмен человека со средой;

перенос теплоты из жилища в окружающую среду (через окна, двери, стены) и, наоборот, из среды в жилище;

перенос энергии от Солнца к Земле;

различные способы переработки вещества и продуктов.

Все эти процессы связаны с переносом энергии и вещества в пространстве (тепломассообмен).

Такие процессы, как испарение, сушка, образование облаков, представляют собой целый комплекс явлений тепломассообмена, сопровождающихся фазовыми превращениями.

Для своих нужд люди используют в некоторых случаях лишь какое-нибудь одно явление, например процесс диффузии примесей в полупроводниках при производстве транзисторов, интегральных схем; в других случаях это может быть целый комплекс явлений, настолько сложный, что трудно выделить одно из них в качестве основного. Например, при взаимодействии мощных потоков лазерного излучения с веществом происходит нагревание последнего до температуры плавления, и даже испарения, затем испарившееся вещество выбрасывается в окружающее пространство, дальнейшее поступление энергии приводит к ионизации паров, образованию плазмы и т. д.

Ввиду сложности процессов тепломассообмена целесообразно отдельно изучить явления, с ним связанные, – теплопроводность, конвекцию, излучение, диффузию, конвективный массообмен.

11.2. Конвективный теплообмен

Конвекция – процесс переноса теплоты при перемещении макрочастиц жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой температурой.

Прежде условимся, что под термином «жидкость» будем понимать как капельную жидкость, так и газ. Причем жидкость может быть сжижаемой (газ) и несжижаемой (капельная жидкость).

Теплообмен между потоками жидкости и поверхностью соприкасающегося с ним тела называется *конвективным теплообменом* (конвективной теплоотдачей). Этот процесс изучался еще в XVII в. И. Ньютоном и в XVIII в. русским академиком Г. В. Рихманом, которые независимо друг от друга установили следующую закономерность **(закон Ньютона – Рихмана): тепловой поток dΦ от жидкости к элементу поверхности d*A* (или в обратном направлении) пропорционален площади элемента поверхности и разности температур $\Delta t = t_c - t$ или $\Delta t = t - t_c$ между температурами поверхности тела *t* и среды t_c:**

$$\mathbf{d\Phi = d\Phi\alpha \cdot t d\Phi}, \qquad (11.1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м^2 · К.

Согласно (11.1)

$$\alpha = \frac{\mathrm{d}\Phi}{(\mathrm{d}A\,\Delta t)} = \frac{q}{\Delta t}. \qquad (11.2)$$

Коэффициент теплоотдачи α численно характеризует плотность теплового потока, которая рассеивается или воспринимается поверхностью твердого тела при разности температур между твердым телом и средой в 1 К.

Если параметры не изменяются от точки к точке поверхности, то закон Ньютона – Рихмана записывается в интегральной форме:

$$\Phi = \alpha \Delta t A.$$

Вся сложность процесса конвективного теплообмена концентрируется в одной величине – коэффициенте теплоотдачи α, который представляет собой функцию большого числа параметров, существенно влияющих на процесс теплообмена. Прежде всего конвективный теплообмен оказывается связанным с движением самой жидкости, т. е. с гидродинамическим процессом. Тепловые и аэрогидромеханические явления взаимосвязаны, поэтому изучение каждого из них не может проводиться изолированно.

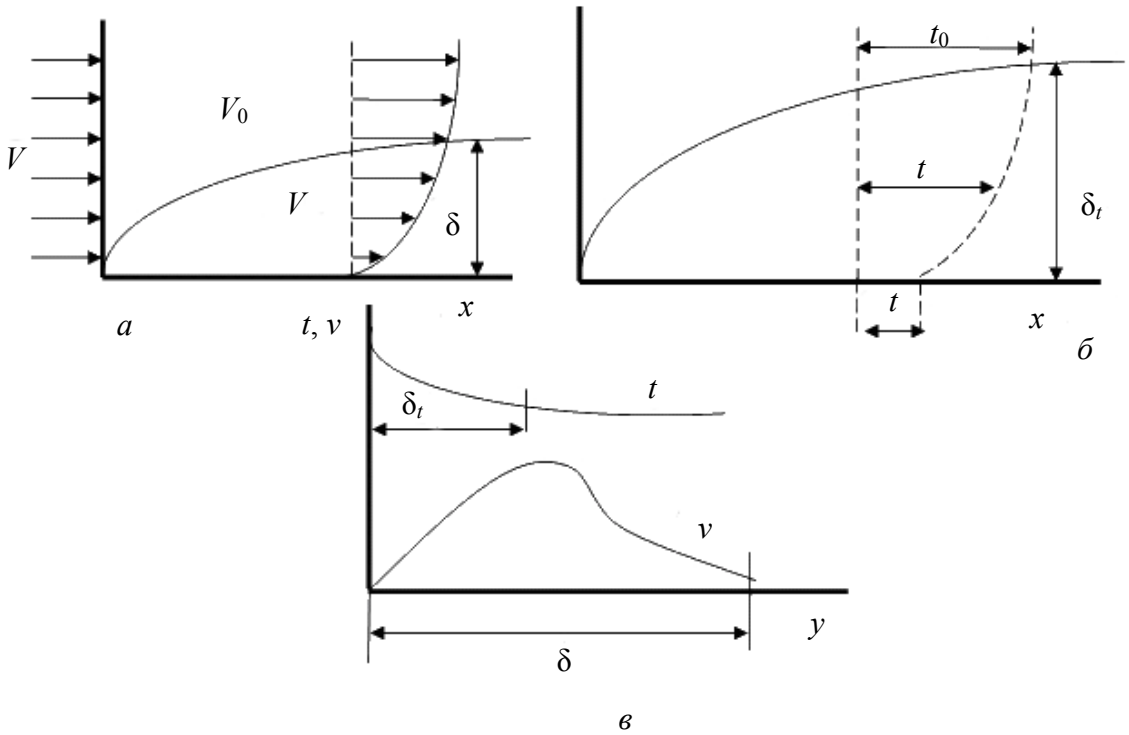


Рис. 11.1. Гидродинамический (*а*) и тепловой (*б*) пограничные слои при вынужденном обтекании пластины потоком жидкости. Поле скоростей и температур при свободной конвекции жидкости у вертикальной стенки (*в*)

Решение многих практически важных задач аэрогидродинамики и теплообмена основано на модели пограничного слоя. При соприкосновении частиц жидкости с поверхностью тела они адсорбируются телом, как бы при-

липают к его поверхности. В результате около поверхности вследствие вязкостных свойств образуется тонкий слой медленно движущейся жидкости – *пограничный слой*. Различают гидродинамический и тепловой пограничные слои. На рис. 11.1, *а, б* представлены схемы изменения скоростей и температур в гидродинамическом и тепловом пограничных слоях на передней кромке пластины при вынужденном движении жидкости на некотором расстоянии от кромки. *Гидродинамическим пограничным слоем* называют пристенный слой жидкости толщиной δ, в котором происходит изменение скорости движения жидкости от нулевой (на поверхности тела) до значения υ_o – скорости основного потока жидкости.

Пристенный слой жидкости толщиной δ_t, в котором происходит изменение температуры от ее значения t_W на поверхности тела до температуры t_o основного потока жидкости, называют *тепловым пограничным слоем*.

Понятие «толщина пограничного слоя» δ весьма условно, так как резкого перехода от пограничного слоя к течению вне слоя нет. Поэтому под δ подразумевают такое расстояние от стенки, на котором скорость потока υ будет отличаться от скорости υ_o набегающего потока, например, на 1 %. В общем случае величины δ и δ_t не совпадают.

Разница в структуре теплового и гидродинамического пограничных слоев особенно заметна, например, при свободном движении жидкости около нагретой вертикальной стенки (рис. 11.1, *в*): скорость вдали от стенки равна нулю, поэтому распределение скоростей имеет иной характер, чем для вынужденной конвекции.

В 1883 г. английский ученый Осборн Рейнольдс показал, что существуют два основных режима движения жидкости: *ламинарный* и *турбулентный*. При ламинарном движении отдельные струи потока располагаются параллельно друг другу, при турбулентном движении эти отдельные струи потока хаотически переплетены друг с другом.

Это было установлено Рейнольдсом следующими экспериментами. В протекающую по трубе воду вводилась тоненькая струйка окрашенной жидкости. При скоростях течений, не превышающих некоторой критической скорости $\upsilon_{кр}$, отдельные части окрашенной струйки двигались только по направлению всего потока. При $\upsilon > \upsilon_{кр}$ окрашенная струйка на большом расстоянии от входа в трубу растворялась и окрашивала всю воду. Это объясняется тем, что продольное движение частиц уступает место движению, в котором частицы приобретают также значительные радиальные составляющие скорости. При переходе ламинарного режима в турбулентный сопротивление движению жидкости в трубе резко возрастает.

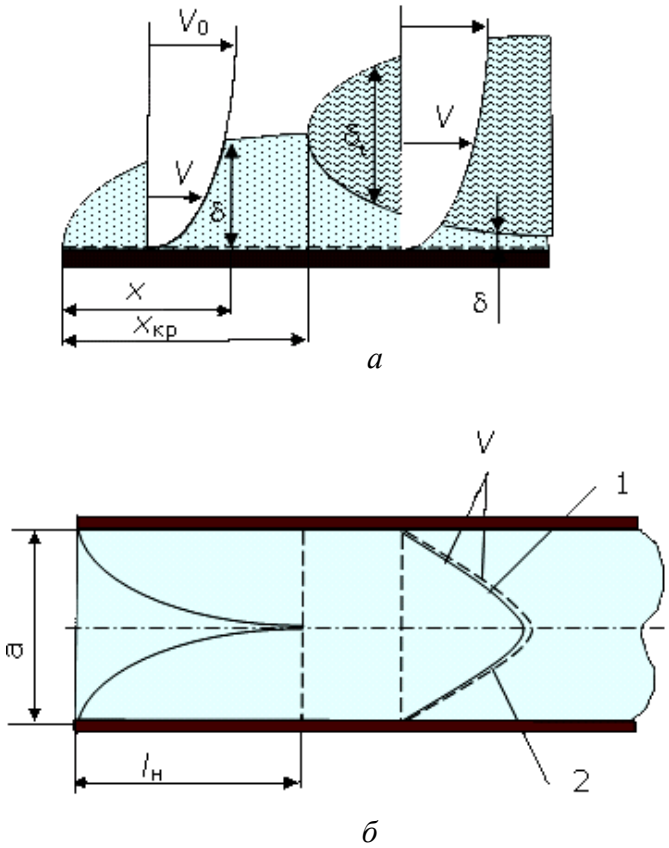


Рис. 11.2. Структура пограничного слоя: *а* – обтекание пластины потоком жидкости; *б* – течение жидкости в трубе

Кроме того, существует еще весьма неустойчивый переходный режим движения жидкости.

Характер режима течения зависит от нескольких параметров – вязкости μ, плотности ρ, скорости υ течения и размеров тела.

Между частицами или слоями реальной жидкости, движущимися с различными скоростями, вследствие вязкости всегда возникает сила внутреннего трения (касательные напряжения), противодействующая движению. Согласно закону Ньютона эта сила F, отнесенная к единице поверхности, пропорциональна градиенту $d\upsilon/dn$, а именно:

$$F = \mu d\upsilon/dn\,.$$

Коэффициент μ в этом уравнении называют *динамической вязкостью* (коэффициентом внутреннего трения); в СИ он выражается в паскалях в секунду.

Положим $d\upsilon/dn = 1$, тогда коэффициент динамической вязкости μ равен силе трения, приходящейся на единицу площади соприкосновения скользящих друг по другу слоев. В уравнение теплообмена часто входит отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности $\nu = \mu/\rho$, которое называют *кинематической вязкостью*.

Таблица 11.1

Значения динамической вязкости в зависимости от изменения температуры

Среда	Изменение t, °С	Динамическая вязкость, μ, Па · с
Воздух	$-50 \le t \le 1000$	$(15–50)\cdot 10^{-6}$
Вода	$0 \le t \le 370$	$(1800–60)\cdot 10^{-6}$
Масло	$10 \le t \le 150$	$(35000–50)\cdot 10^{-4}$

В табл. 11.1 приведены значения динамической вязкости в зависимости от изменения температуры.

Переход из турбулентного течения в ламинарное и обратно количественно характеризуется так называемым числом Рейнольдса – Re. Например, при обтекании пластины при значении числа Рейнольдса $\mathrm{Re} = \upsilon L/\nu > 5 \cdot 10^5$ возникает турбулентность. Зарождение турбулентности зависит от возмущений в потоке, которые могут существовать на подходе к передней кромке пластины и в области самой кромки.

Типичные модели конвективного теплообмена – это движение жидкости вдоль пластины, свободная конвекция у вертикальной пластины, течение жидкости в канале.

На рис. 11.2, *а* схематически показана модель движения жидкости вдоль пластины, включающая два режима течения – ламинарный и турбулентный. На переднем участке пластины, где $x < x_{кр}$, образуется ламинарный гидродинамический пограничный слой толщиной $\delta_л(x)$. Как только x становится больше критической ($x \ge x_{кр}$), движение в слое становится неупорядоченным, вихревым: образуются турбулентный пограничный слой толщиной $\delta_т$ и ламинарный подслой толщиной $\delta_п$.

Рассмотрим процесс свободной конвекции около нагретой, вертикально ориентированной стенки, температура которой выше температуры омывающей жидкости (см. рис. 11.1, *в*). Соприкасающийся со стенкой объем жидкости получает от нее энергию благодаря столкновению молекул газа со стенкой, молекулы жидкости начинают двигаться с большей скоростью, первоначальный объем увеличивается, соответственно снижается плотность жидкости, что по закону Архимеда приводит к движению этого объема вверх.

По-другому ведет себя жидкость при вынужденном движении в канале или трубе. У внутренней поверхности трубы также образуется пограничный слой, толщина которого у входного края трубы равна нулю, а затем постепенно возрастает, как это показано на рис. 11.2, *б*. Предположим, что условия входа таковы, что движение частиц в трубе происходит без возмущения. На расстоянии $x > l_н$ от входа пограничный слой утолщается настолько, что заполняет все сечение, – начинается область стабилизированного течения. Кривая распределения скорости потока по сечению канала имеет форму параболы *1* (ламинарное движение) либо более сложной выпуклой кривой *2*

(турбулентное движение). Для стабилизированного потока, как будет показано ниже, при $\mathrm{Re} = \upsilon d/\nu > 2300$ ламинарное течение переходит в турбулентное.

Помимо свободного и вынужденного обтекания тел жидкостью явление конвективного теплообмена наблюдается также при кипении и конденсации жидкости.

Лекция 33

П л а н л е к ц и и

11.3. Лучистый теплообмен:
закон Планка;
закон Стефана – Больцмана.
11.4. Теплопроводность:
температурное поле;
изотермическая поверхность;
градиент температур.
Л и т е р а т у р а: [9, 23, 54].

11.3. Лучистый теплообмен

Тепловое излучение определяется только температурой и оптическими свойствами излучающего тела. Известно, что энергия излучения переносится со скоростью света, которую для вакуума обозначим c_0, а для вещества – c. Скорости c и c_0 связаны через показатель преломления n вещества зависимостью

$$c = \frac{c_0}{n}.$$

Энергия фотона $Q_ф$ пропорциональна частоте электромагнитных колебаний:

$$Q_ф = h\nu,$$

где h – постоянная Планка.

По спектру различают монохроматическое и сложное излучения. Если излучение происходит в узком интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, то оно называется *монохроматическим* и у параметров, характеризующих монохроматическое излучение, ставится индекс λ или ν. *Сложным* (интегральным) называется излучение во всем диапазоне длин волн $0 \le \lambda \le \infty$. Таким образом, в отличие от других механизмов теплообмена лучистая энергия имеет не только количественную, но и качественную (спектральную) характеристику.

Если на пути теплового излучения встречается тело, то тепловая энергия частично поглощается им, частично отражается и частично проходит сквозь него. Обозначим количество падающей на тело энергии Q, поглощен-

ной – Q_a, отраженной – Q_r и прошедшей через вещество – Q_d. Тогда на основании закона сохранения энергии

$$Q = Q_a + Q_r + Q_d . \quad (11.3)$$

Разделим обе части равенства (11.3) на Q:

$$\frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_d}{Q} = 1. \quad (11.4)$$

Первый член равенства (11.4) называется *коэффициентом поглощения* и обозначается f, второй – *коэффициентом отражения* и обозначается r, третий – *коэффициентом пропускания* и обозначается d. Следовательно,

$$a + r + d = 1. \quad (11.5)$$

Каждая из величин a, r, d для различных веществ может принимать значения от 0 до 1. Различают три крайних случая:

1) $a = 1$, $r = 0$, $d = Q$, т. е. падающая лучистая энергия полностью поглощается телом. Такие тела называются *черными*;

2) $r = 1$, $a = d = 0$, т. е. падающая лучистая энергия полностью отражается. В случае когда поверхность шероховатая, лучи отражаются рассеянно (диффузное отражение) и тело называется *белым*; когда поверхность тела гладкая, то отражение происходит по законам геометрической оптики и поверхность тела называется *зеркальной*;

3) $d = 1$, $a = r = 0$, т. е. падающая энергия полностью проходит через тело. Такие тела называются *прозрачными* (диатермичными).

В природе такие крайние случаи не встречаются, т. е. величины a, r, d не принимают значений, равных нулю или единице. Однако анализ этих случаев позволил найти путь для установления законов излучения реальных тел.

При изучении теплового излучения важную роль играют понятия «лучистый поток», «излучательная способность», «спектральная излучательная способность реальных и черных тел» (все параметры, относящиеся к черному телу, далее будут обозначаться с индексом 0).

Потоком излучения, или *лучистым потоком*, Ф называют отношение лучистой энергии Q к времени излучения τ:

$$\Phi = Q / \tau,$$

или

$$\Phi = dQ / d\tau.$$

Отношение потока излучения Ф к площади поверхности A излучающего тела называется *излучательной способностью* M:

$$M = \Phi / A,$$

или

$$M = \mathrm{d}\Phi / \mathrm{d}A.$$

Поверхностную плотность лучистого потока монохроматического излучения в диапазоне длин волн от λ до λ + dλ называют *спектральной излучательной способностью* и обозначают $M_\lambda = \mathrm{d}M / \mathrm{d}\lambda$. Единица измерения M_λ – ватт на метр кубический.

Таблица 11.2

Физические постоянные излучения

Наименование	Обозначение	Значение
Постоянная Планка	h	$6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Скорость света в вакууме	c_Q	$2{,}998 \cdot 10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана – Больцмана	σ_0	$5{,}668 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2 · К^4)
Первая постоянная Планка	C_1	$3{,}740 \cdot 10^{-16}$ Вт · м^2
Вторая постоянная Планка	C_2	$1{,}4387 \cdot 10^{-2}$ м · К

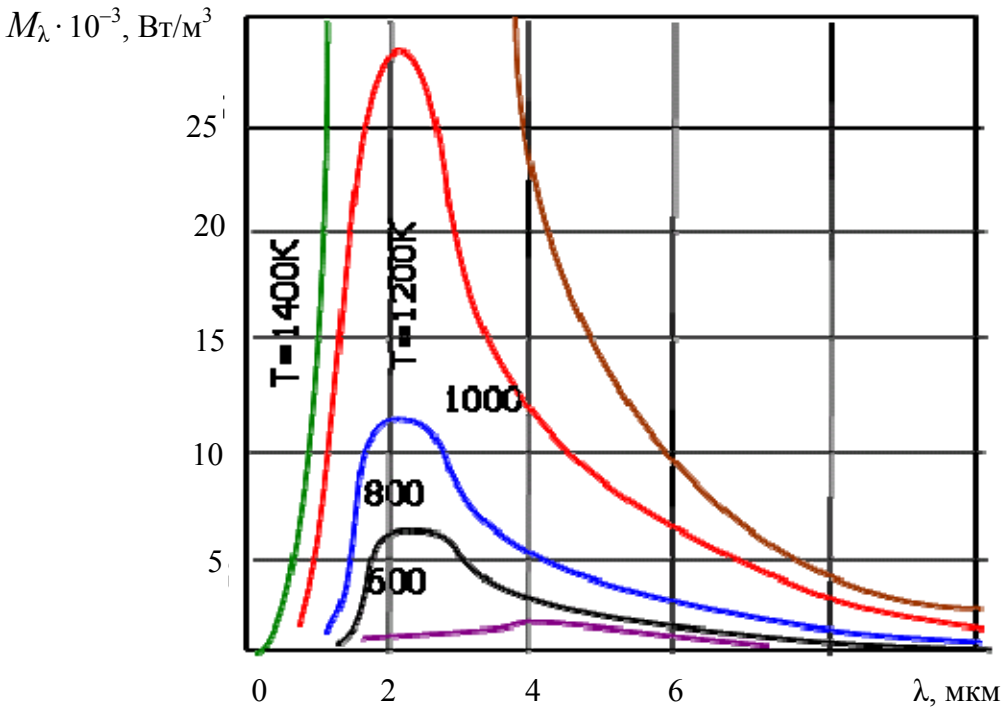


Рис. 11.3. Графическое представление закона Планка

Немецкий физик Макс Планк в 1900 г. теоретически установил закон, выражающий зависимость спектральной излучательной способности черного тела от длины волны и температуры T (закон Планка):

$$M_{0\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5} n^{-2}}{\exp\left(\dfrac{C_2}{n\lambda T}\right) - 1}, \qquad (11.6)$$

где n – показатель преломления среды, окружающей черное тело; C_1, C_2 – физические постоянные, значения которых приведены в табл. 11.2.

На рис. 11.3 дано графическое представление формулы (11.6) для случая $n = 0$, т. е. когда черное тело излучает в вакуум.

Из рис. 11.3 следует, что черное тело излучает при любой температуре $T > 0$ К лучи всех длин волн, т. е. имеет сплошной спектр излучения.

Из формулы (11.6) запишем выражение для излучательной способности черного тела:

$$\mathrm{d}M_0 = M_{0\lambda}\mathrm{d}\lambda = \frac{C_1\lambda^{-5}n^{-2}\mathrm{d}\lambda}{\exp\left(\dfrac{C_2}{n\lambda T}\right)-1}. \qquad (11.7)$$

Интегрируя его в пределах изменения длины волны от 0 до ∞, получим

$$M_0 = \int_0^\infty M_{0\lambda}\mathrm{d}\lambda = n^2\sigma_0 T^4. \qquad (11.8)$$

Это известный **закон Стефана – Больцмана: излучательная способность черного тела пропорциональна его абсолютной температуре в четвертой степени.**

11.4. Теплопроводность

Совокупность тел с различными теплофизическими параметрами и явно выраженными границами раздела называют *системой тел* или *неоднородным телом*. Каждая часть такой системы будет однородным телом. Однородные тела могут быть изотропными и анизотропными: *в изотропном теле* теплофизические параметры одинаковы во всех направлениях, *в анизотропном* – различны в разных направлениях, но могут быть постоянными в выбранном направлении.

Тепловое состояние тела или системы тел количественно характеризуется его *температурным полем* – совокупностью числовых значений температуры в различных точках системы в данный момент времени. В случае когда температура во всех точках системы не изменяется с течением времени, поле температур называется *стационарным*; если же температура в теле с течением времени изменяется, то это *нестационарное поле*.

Если температуры всех точек некоторого объема равны между собой в любой момент времени, то это поле температур называют *равномерным*. Температурное поле в частном случае может зависеть только от одной координаты, тогда его называют *одномерным*; аналогичный смысл имеют термины «двухмерное поле» и «трехмерное поле» температур.

Если тела находятся при различных температурах, то возникает поток теплоты, направленный от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Для количественного описания этого процесса вводят два основных понятия – «изотермическая поверхность» и «градиент температур».

Изотермической поверхностью называют геометрическое место точек, имеющих одинаковую температуру. По определению через каждую точку внутри тела можно провести в данный момент времени только одну изотермическую поверхность. На рис. 11.4 линиями S_1, S_2 на плоскости чертежа изображены следы различных изотермических поверхностей в фиксированный момент времени, называемые *изотермами*. В любом другом направлении, не совпадающем с изотермой, температура меняется. Причем в направлении нормали к изотермической поверхности наблюдается наиболее резкое изменение температуры. Возрастание температуры в направлении нормали к изотермической поверхности характеризуется отношением изменения температуры Δt между выбранными изотермами к расстоянию между ними по нормали Δn. Предел этого отношения при $\Delta n \to 0$ называется *градиентом температуры* (grad t). Иными словами, **градиент температуры есть вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры**, т. е.

$$\lim_{\Delta n \to 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} = \vec{n}_0 \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad } t, \tag{11.9}$$

где n_0 – единичный вектор, направленный по нормали в сторону возрастания температуры; $\dfrac{\partial t}{\partial n}$ – производная температуры по направлению нормали.

За положительное направление градиента температуры принимают направление, в котором температура возрастает. Линии, перпендикулярные изотермическим поверхностям, называют *линиями теплового потока* или *линиями тока* (рис. 11.4).

Изменение количества теплоты dQ за время dt называют *тепловым потоком* (тепловой мощностью). Тепловой поток, отнесенный к элементу площади dA, называют *плотностью теплового потока*:

$$q = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}A\,\mathrm{d}\tau}. \tag{11.10}$$

Количественную связь между тепловым потоком и градиентом температур устанавливает закон Ж. Фурье, положенный в основу аналитической теории теплопроводности: **плотность теплового потока прямо пропорциональна градиенту температуры**, т. е.

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}\, t = -\lambda \nabla t = -\lambda \vec{n}_0 \frac{\partial t}{\partial n}, \tag{11.11}$$

где λ – коэффициент пропорциональности, называемый *теплопроводностью*; grad, ∇ – математические символы, обозначающие градиент.

Градиент температуры можно представить в виде векторной суммы составляющих по осям декартовых координат:

$$\text{grad } t = \vec{i}\frac{\partial t}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial t}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial t}{\partial z}, \qquad (11.12)$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – ортогональные между собой единичные векторы, направленные по координатным осям.

Рассмотрим стационарное одномерное поле температур, изменяющееся лишь в одном направлении. Математическая формулировка этих условий имеет вид $\partial t/\partial x \neq 0$; $\partial t/\partial y = \partial t/\partial z = 0$; $\partial t/\partial \tau = 0$.

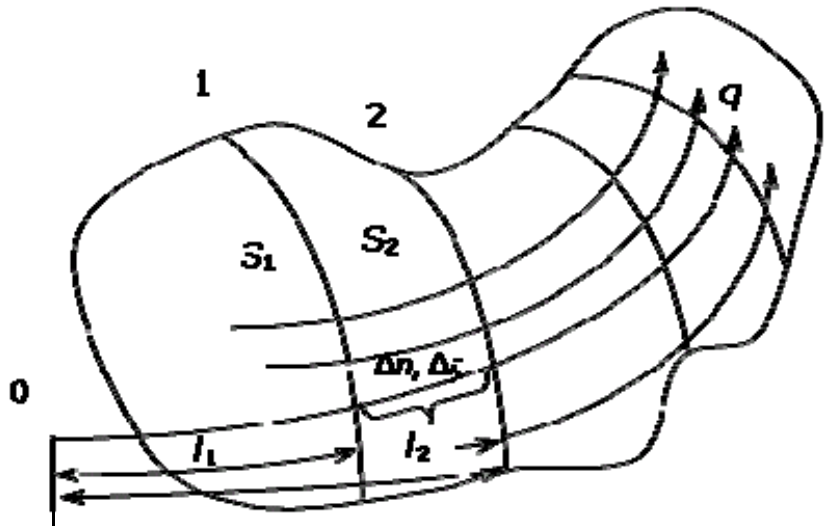


Рис. 11.4. Изотермические поверхности *S* и линии теплового потока *q* в теле

Пусть кроме этого градиент температур $\partial t/\partial x$ будет постоянным, т. е. температура изменяется с координатой *x* линейно. Тогда

$$\partial t/\partial x = (t_2 - t_1)/(x_2 - x_1) = \text{const}, \qquad (11.13)$$

где t_1 и t_2 – значения температур на поверхностях x_1 и x_2, причем $t_1 > t_2$, $x_2 > x_1$.

Лекция 34

План лекции

11.5. Системы охлаждения электронных средств.
11.6. Радиаторы.
11.7. Тепловые трубы.
Контрольные вопросы.
Литература: [9, 23, 54].

11.5. Системы охлаждения электронных средств

Система охлаждения ЭС – это совокупность устройств и конструктивных элементов, применяемых для обеспечения нормального теплового и влажностного режимов ЭС. Выделяют следующие виды систем охлаждения (СО): воздушные (рис. 11.5, *а–д*), жидкостные (рис. 11.5, *е–з*), испарительные (рис. 11.5, *и, к*), кондуктивные, радиационные, специальные и комбинированные.

Воздушные системы охлаждения. В воздушных СО в качестве теплоносителя используется воздух. При этом различают свободное воздушное охлаждение, внутреннее перемешивание воздуха в корпусе аппарата, свободную и принудительную вентиляцию.

На рис. 11.5, *а* схематически представлено свободное воздушное охлаждение, на рис. 11.5, *б* – свободная вентиляция. На рис. 11.5, *в* приведена возможная схема реализации внутреннего перемешивания воздуха в ЭС, на рис. 11.5, *г, д* – принудительная вентиляция, которая может быть приточно-вытяжной, приточной или вытяжной.

Приточная вентиляция осуществляется нагнетанием в корпус ЭС охлажденного и очищенного воздуха, вытяжная – вытягиванием из ЭС нагретого воздуха. В первом случае вентилятор работает в более холодном и, следовательно, более плотном воздухе, поэтому приточная вентиляция эффективнее вытяжной. В приточно-вытяжной вентиляции нагнетание холодного и вытяжка нагретого воздуха осуществляются двумя вентиляторами.

Жидкостная и испарительная системы охлаждения. На рис. 11.5, *е, ж, и*, изображены ЭС, внутренний объем корпуса которых заполнен жидкостью, омывающей поверхность плат, шасси, деталей и т. п. Теплообмен между этими элементами и жидкостью может происходить как в обычных условиях (свободная и вынужденная конвекция), так и при кипении жидкости. Отвод теплоты от нагретой жидкости может быть осуществлен с помощью погруженного в жидкость змеевика с теплоносителем или теплообменников, установленных на корпусе аппарата.

На рис. 11.5, *з, к* схематически изображены системы жидкостного и испарительного охлаждения, в которых теплообмен между источниками теплоты *P* и жидкостью происходит в условиях вынужденной конвекции в замкну-

том контуре. Отвод теплоты от контура осуществляется с помощью теплообменника *Т*, а движение жидкости – с помощью нагнетателя *Н*.

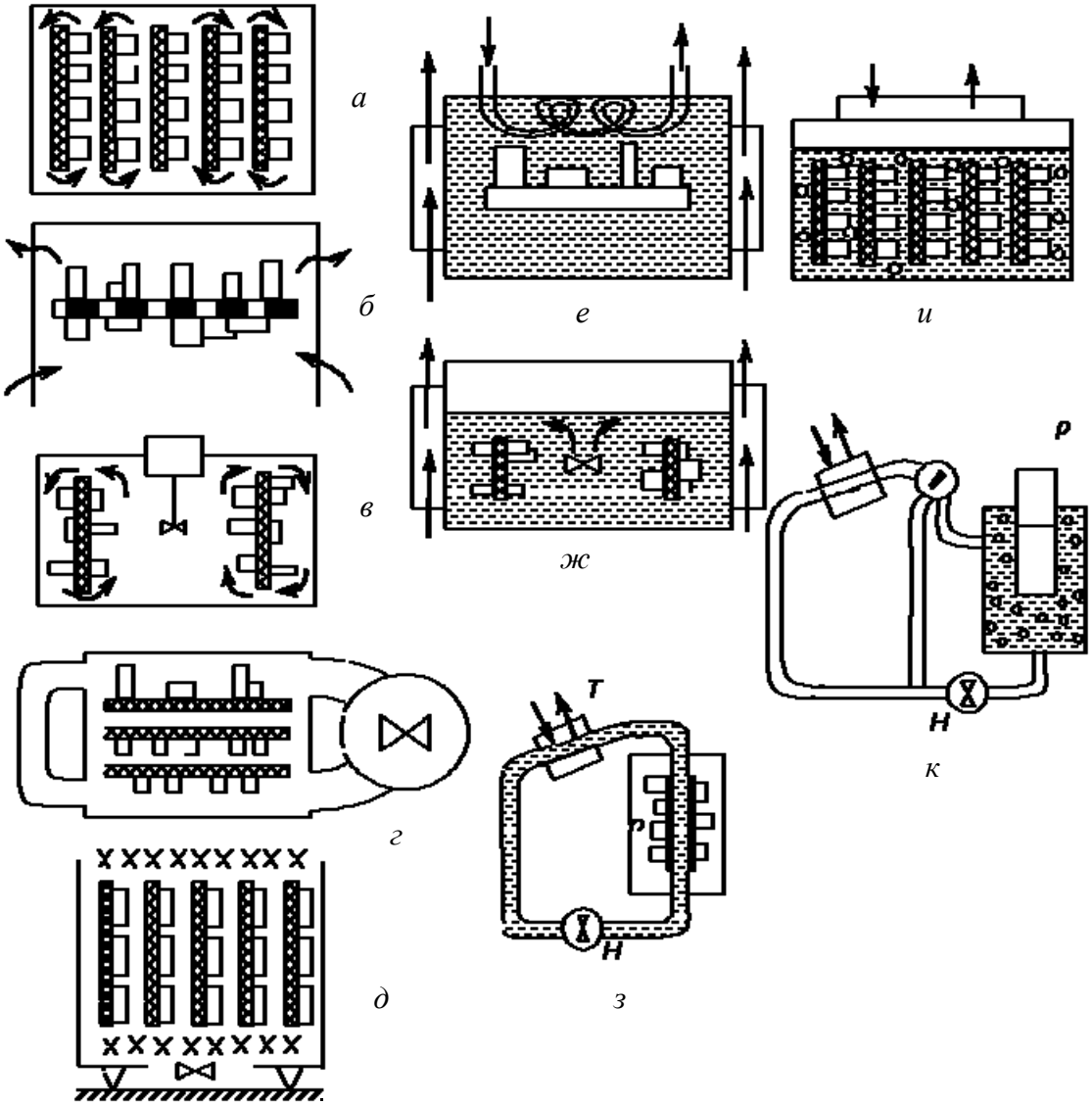


Рис. 11.5. Классификация систем охлаждения

Кондуктивное охлаждение. В кондуктивных системах охлаждения явление теплопроводности используется как основной механизм переноса тепловой энергии от источников к теплоприемникам, расположенным на периферии прибора.

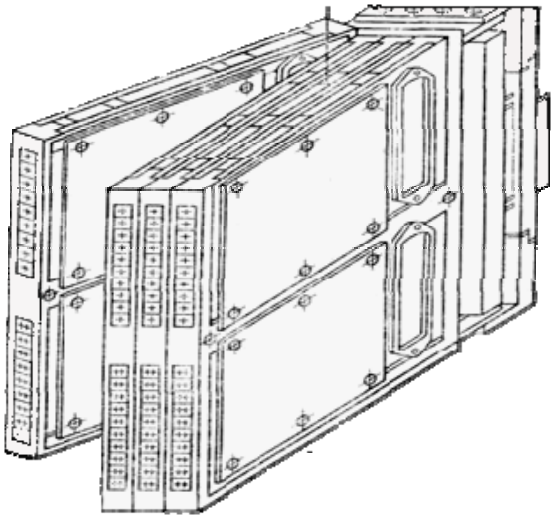


Рис. 11.6. Блок книжной конструкции с кондуктивным охлаждением

Кондуктивное охлаждение наиболее часто применяется в блоках с высокой плотностью монтажа. Один из возможных вариантов такой конструкции представлен на рис. 11.6.

Радиационные и специальные системы охлаждения. В радиационных системах отвод теплоты осуществляется благодаря излучению. Обычно такие системы применяют в космических аппаратах или вакуумированных приборах.

К специальным системам охлаждения относят термоэлектрические устройства, вихревые и тепловые трубы, расширительные газовые машины.

При кратковременном режиме работы ЭС используются различного типа тепловые аккумуляторы – масса металлических конструкций (платы, радиаторы, корпус и т. п.), части конструкции, предназначенные для других целей (корпус космического корабля, топливо в баках самолета). Иногда применяют предварительное захолаживание таких аккумуляторов с помощью наземных охлаждающих устройств. В некоторых случаях для аккумуляции тепловой энергии применяются специальные вещества, поглощающие тепловую энергию в процессе фазовых превращений или химических реакций.

Способ охлаждения во многом определяет конструкцию ЭС, поэтому даже на ранней стадии проектирования, т. е. на стадии технического предложения или эскизного проекта, необходимо выбрать систему охлаждения ЭС. Неудачное решение этой задачи может обнаружиться только на более поздних этапах конструирования (детальная проработка конструкции, испытание опытного образца и т. п.) и свести на нет работу большого коллектива, а значит, существенно увеличить сроки создания ЭС.

11.6. Радиаторы

Для системы воздушного охлаждения широкое применение получили радиаторы, которые различаются по виду, развитой площади поверхности, а именно: пластинчатые (рис. 11.7, *а*), ребристые (рис. 11.7, *б*), игольчато-

штыревые (рис. 11.7, *в*), типа «краб» (рис. 11.7, *г*), жалюзийные (рис. 11.7, *д*), петельно-проволочные (рис. 11.7, *е*).

На рис. 11.7, *а–г* приведены геометрические параметры, существенно влияющие на рассеиваемый радиатором тепловой поток: размеры основания L_1, L_2 (при прямоугольном основании или диаметр D при круглом основании), толщина основания ($h_1 - h_2$), высота h_1 (или h_2), толщина ребра δ или штыря d и шаг S_1 между ними.

Для петельно-проволочных радиаторов характерными геометрическими параметрами являются высоты h_2 витка, диаметр d проволоки, шаг навивки S_2, шаг укладки S_i и коэффициент заполнения канала, равный отношению площади поперечного сечения спиралей к площади сечения канала. Значения указанных параметров для выпускаемых промышленностью радиаторов можно найти в нормативной документации.

Исследования теплообмена радиаторов различного типа позволили построить приближенную зависимость среднего перегрева θ_S основания площадью A от удельной нагрузки $q = \Phi/A$ (где $A = L_1L_2$ – для прямолинейного основания, $A = \dfrac{\pi D^2}{4}$ – для круглого) при свободной и вынужденной вентиляции. График на рис. 11.8 и формулы (11.14) позволяют остановиться на том или ином типе радиатора, если заданы поверхностная плотность теплового потока q и допустимый средний перегрев θ_S основания.

Для характеристики теплообменных свойств радиатора используют следующие параметры: эффективный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{эфф}$, тепловую проводимость σ_Σ, тепловое сопротивление R_Σ. Эти параметры связаны со средним перегревом θ_S основания, рассеиваемым потоком Φ зависимостями

$$\alpha_{эфф} A = \theta_\Sigma = R_\Sigma^{-1},$$

$$A = L_1L_2, \quad A = \frac{\pi D^2}{4}, \qquad (11.14)$$

$$\Phi = \sigma_\Sigma \theta_S = R_\Sigma^{-1}\theta_S = \alpha_{эфф}\theta_S A,$$

где L_1, L_2 – размеры основания прямоугольного радиатора; D – диаметр круглого основания.

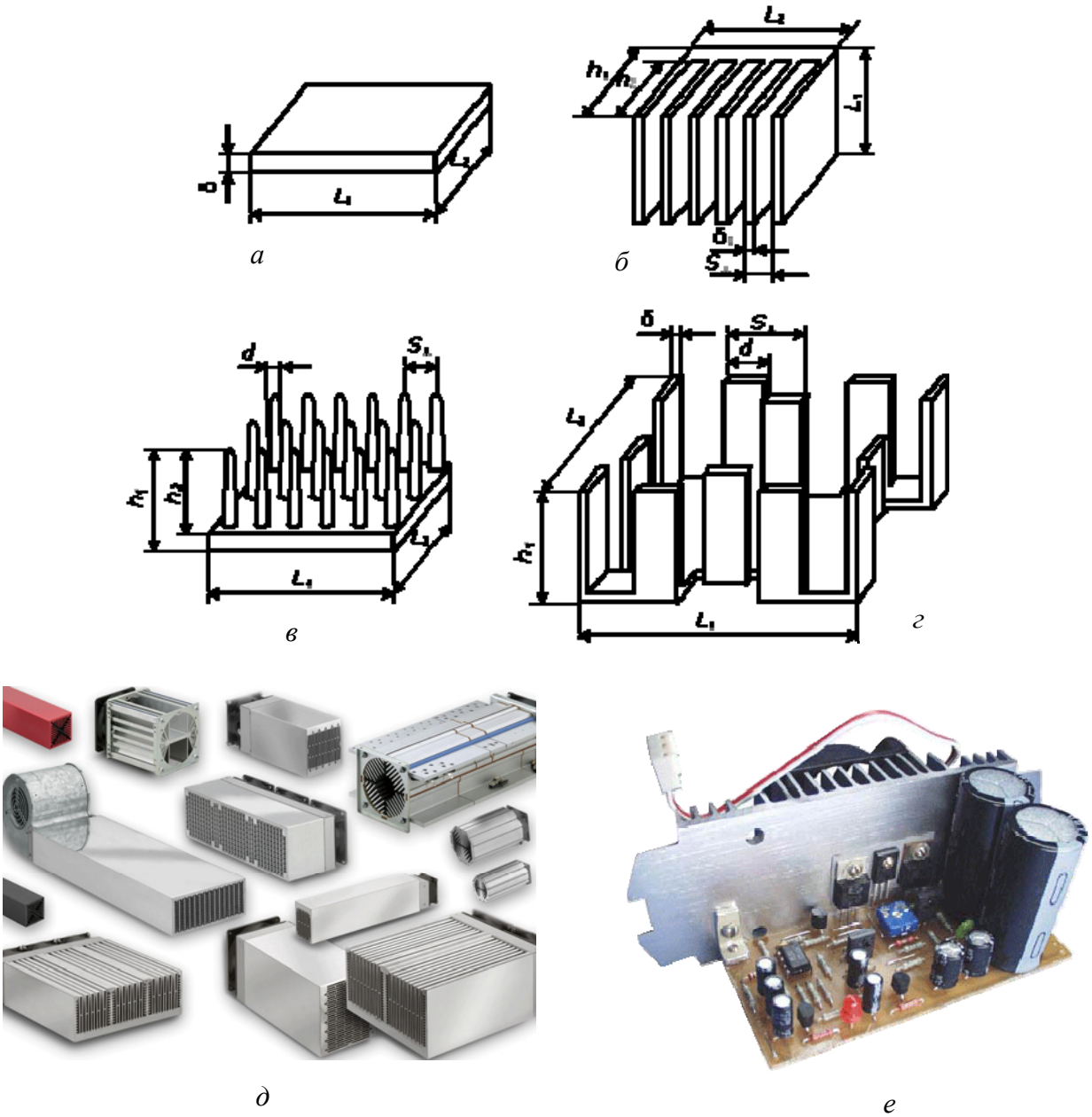


Рис. 11.7. Радиаторы воздушного охлаждения: *а–г* – схематичное изображение радиаторов; *д*, *е* – представленный внешний вид

Формула (11.14) справедлива для радиатора любого из рассмотренных выше типов. Вся сложность процессов переноса теплоты и конструктивные особенности радиатора характеризуются одной величиной – эффективным коэффициентом теплоотдачи. Последний может быть определен экспериментально или расчетным путем. В первом случае в основу положена зависимость (11.14), позволяющая по найденным из опыта значениям Ф и ϑ_S определить $\alpha_{эфф}$.

Рассмотрим теперь на примере пластинчатых, ребристых и игольчато-штыревых конструкций радиаторов расчетный метод определения параметров $\alpha_{эфф}$, σ_Σ или R_Σ. Необходимость анализа процесса теплообмена радиато-

ров связана с непрерывным изменением выпускаемых промышленностью типоразмеров радиаторов.

Представим тепловую модель одиночного ребра или штыря в виде стержня произвольного сечения f с периметром U и длиной h, находящегося в среде с температурой t_c и коэффициентом теплоотдачи с боковой поверхности a. Перегрев ϑ_i торца стержня i, в который входит поток Φ_i:

$$\theta_i = \left[\frac{\Phi_i}{\lambda f b}\right] \operatorname{ctg} bh';$$

$$b^2 = \frac{\alpha U}{\lambda f}, \qquad (11.15)$$

$$h' = h + \frac{f}{U}.$$

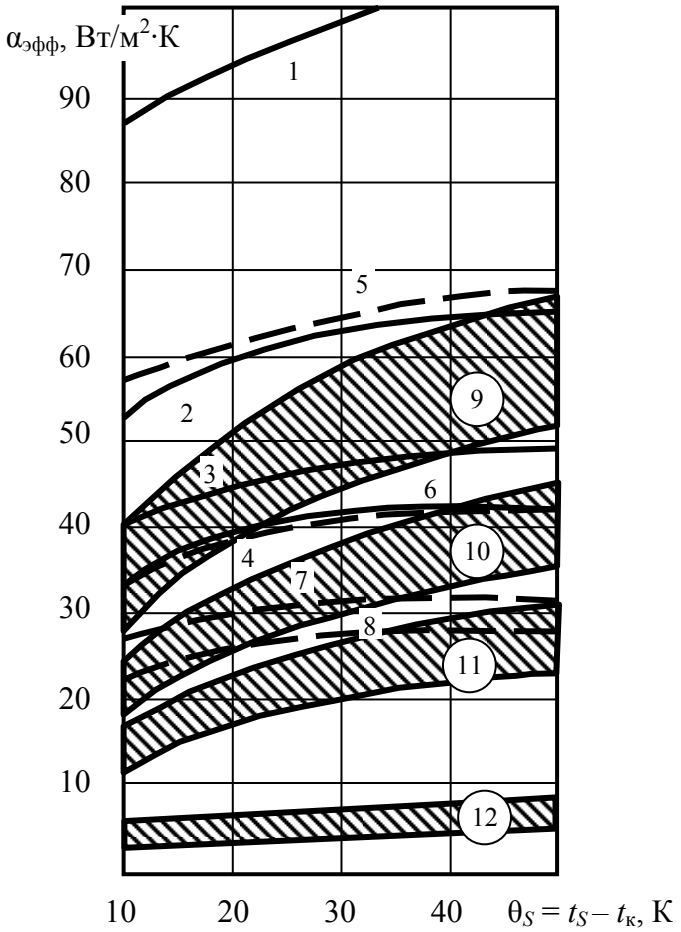


Рис. 11.8. Эффективный коэффициент теплопередачи

Тепловое сопротивление R_i одиночного стержня на основании этой зависимости и формулы (11.14)

$$R_i = \sigma_i^{-1} = \frac{\theta_i}{\Phi_i} = \frac{\operatorname{ctg} bh'}{\lambda f b}. \qquad (11.16)$$

Общая проводимость $\sigma_{\Sigma р}$ оребренной части радиатора равна сумме проводимостей σ_i всех N ребер:

$$\sigma_{\Sigma р} = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i .$$

Если проводимость от неоребренной части радиатора равна $\sigma_{н.р}$, то общая проводимость радиатора

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{н.р} + N\lambda f b th h'. \qquad (11.17)$$

Параметр b содержит коэффициент теплоотдачи от боковой поверхности ребра или штыря, который определяется из соответствующих критериальных уравнений. В частности, для вынужденной конвекции воздушной среды может быть рекомендована формула

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha L}{\lambda_в} = 0,21\mathrm{Re}^{0,8}, \ \ \mathrm{Re} = \frac{\upsilon_р L}{\nu_в}, \qquad (11.18)$$

где Nu – число Нуссельта, безразмерная величина, характеризующая интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью тела и потоком жидкости; L – определяющий размер для данного вида оребрения; $\lambda_в$, $\nu_в$ – теплопроводность и кинематическая вязкость воздуха при средних значениях температур; $\upsilon_р$ – расчетная скорость движения воздуха для данного вида оребрения.

Особенности теплообмена радиатора должны учитываться при выборе параметров L и $\upsilon_р$: для ребристых поверхностей $\upsilon_р = 1,25\upsilon$, $L = L_1$; для игольчато-штыревых радиаторов $L = d$,

$$\upsilon_р = \upsilon S_1/(S_1 - d),$$

где υ – средняя скорость движения воздуха; S_1 – шаг оребрения; d – диаметр штыря.

Выбор радиатора. На рис. 11.9 схематически изображен радиатор *1* с закрепленным на нем прибором *2*, внутри которого имеются источники мощ-

ностью Ф, разогревающие рабочую область прибора (например, область *p–n*-перехода) и его корпус до температур $t_р$ и $t_к$; в месте крепления прибора к радиатору температура $t_и$, а средняя температура основания радиатора – t_S.

Приведем перечень исходной информации, которая должна быть известна при проектировании или выборе радиатора:

предельно допустимая температура рабочей области прибора $(t_р)_{доп}$ или его корпуса $(t_к)_{доп}$;

рассеиваемая прибором мощность Ф;

температура $t_с$ окружающей среды или набегающего потока;

внутреннее тепловое сопротивление $R_{вн}$ прибора между рабочей областью и корпусом;

способ крепления прибора к радиатору, который характеризуется тепловым сопротивлением $R_к$ контакта.

Проектируемый радиатор должен удовлетворять некоторым дополнительным требованиям: иметь малую массу и габариты, выполнять свои функции при наименьшем расходе воздуха, если требуется принудительное охлаждение, и т. п.

На рис. 11.9 представлена схема соединения тепловых сопротивлений между рабочей областью и окружающей средой, из которой следует:

$$t_р - t_с = (t_р - t_к) + (t_к - t_и) + (t_и - t_с),$$
$$t_и - t_с = (t_р - t_с) - \Phi(R_{вн} - R_к). \qquad (11.19)$$

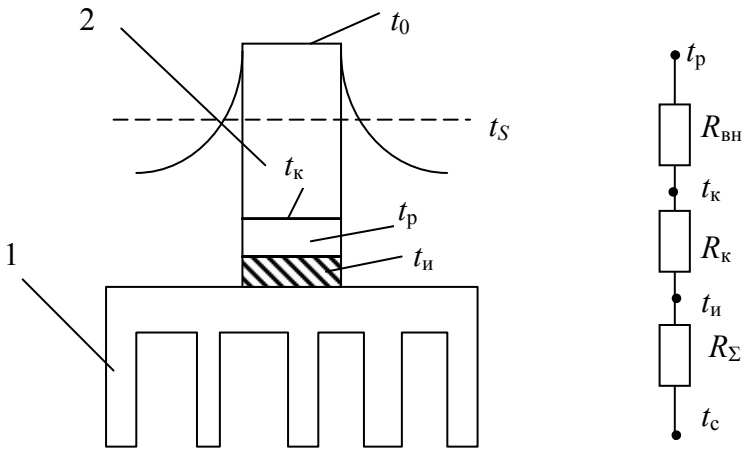


Рис. 11.9. Температурное поле радиатора и прибора

Введем безразмерную величину β, связывающую среднюю температуру t_S основания радиатора и температуру $t_и$ в месте крепления прибора к радиатору:

$$\beta = (t_и - t_с)/(t_S - t_с) = f(B, \sqrt{A_и/A_р}). \qquad (11.20)$$

Из формул (11.19) и (11.20) получаем

$$t_S - t_с = \left[\left(t_р - t_с\right) - \Phi\left(R_{вн} + R_к\right)\right]/\beta. \qquad (11.21)$$

Все параметры, входящие в квадратные скобки формулы (11.21), заданы, а параметры ($t_S - t_с$) и β неизвестны. Дальнейший подбор радиатора может быть осуществлен с помощью формул (11.14), (11.21) на основе метода последовательных приближений. В первом приближении задают значение β^I = 1,2 и по формуле (11.21) определяют $(t_S^I - t_с)$, затем в первом приближении задают площадь A_S^I основания радиатора. Зная Ф, A_S^I и $(t_S^I - t_с)$, по формуле (11.14) находят в первом приближении эффективный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{эфф}$.

Далее переходят ко второму приближению расчетов: находят безразмерные числа $\beta = \alpha_{эфф} A_р/(\lambda\delta)$, $A_и/A_р$ и уточняют по формуле (11.19) значение ($t_S - t_с$). Затем примерно по предыдущей схеме уточняют геометрические параметры радиатора, причем стремятся уменьшить его массу, габариты и т. п.

11.7. Тепловые трубы

Принцип действия и основные характеристики тепловых труб. *Тепловая труба* (ТТ) – устройство, передающее большие тепловые мощности при малых перепадах температуры (за счет использования скрытой теплоты фазового превращения теплоносителя, помещенного внутри герметичного объема).

На рис. 11.10 представлено схематическое изображение ТТ в форме круглого полого цилиндра *1* с большим отношением длины *L* к диаметру *d*. Внутренняя поверхность трубы выложена капиллярно-пористой структурой *2*, последняя насыщена смачивающей жидкостью и граничит с паровым объемом *г* – центральной частью трубы радиуса $r_п$. Капиллярно-пористая структура может представлять собой металлическую сетку, спеченные шарики, металловолокна, стеклоткани и даже систему канавок на внутренней поверхности корпуса *1*. Смачивающая жидкость является теплоносителем. В зависимости от уровня температуры в зоне *а* источника в качестве теплоносителя выбираются жидкие металлы, ртуть, аммиак, вода, ацетон, спирты, фреоны и т. п.: при температурах свыше 750 К используются жидкие металлы; для диапазона $550 \le T \le 750$ К – ртуть (высокотемпературные ТТ); в области среднего диапазона температур $200 \le T \le 550$ К в качестве теплоносителя используются органические жидкости, вода (низкотемпературные ТТ); при температурах ниже 200 К – сжиженные газы (криогенные ТТ). При подводе теплового потока $Ф_п$ к испарительной зоне *а* теплоноситель в этой части капиллярно-

пористой системы начинает испаряться и пары, пройдя транспортную зону *b*, поступают в противоположный конец трубы *e* – в конденсационную зону, где отводится теплота. Здесь пар конденсируется и жидкость под действием капиллярных сил снова поступает по фитилю в зону испарения.

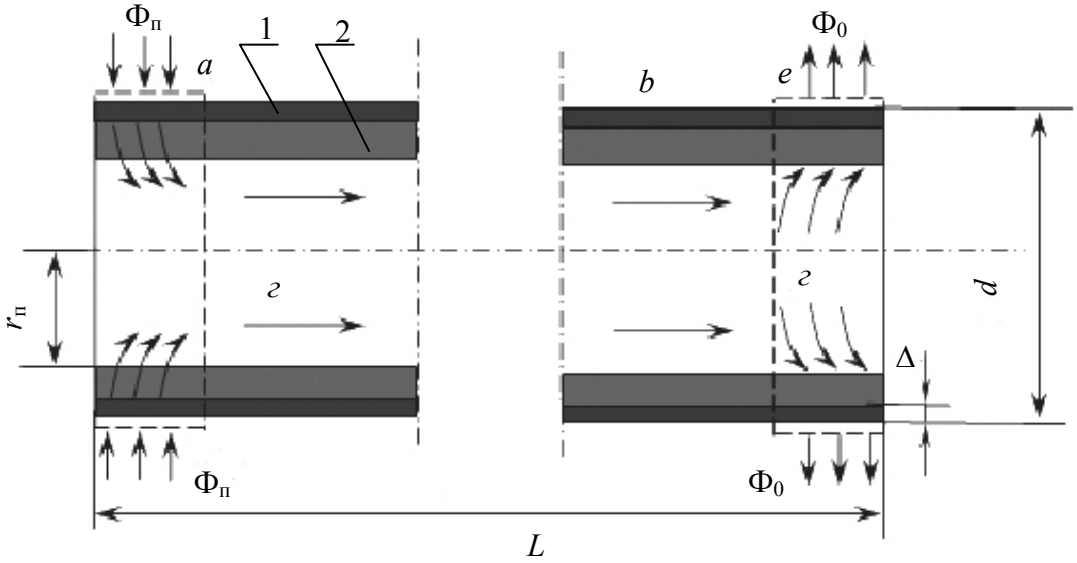


Рис.11.10. Схема тепловой трубы

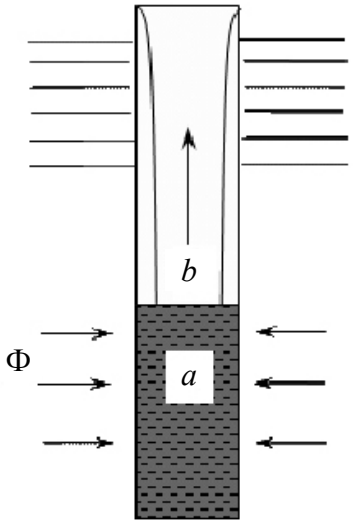


Рис. 11.11. Схема термосифона: *a* – зона испарения (в которой находится жидкость); *b* – зона конденсации (происходит испарение пара и возврат жидкости)

При конденсации пара выделяется поток $Ф_0$, который отводится в теплообменник. Между зонами испарения и конденсации возникают небольшие температурные градиенты, а боковая поверхность цилиндра *1* в транспортной зоне *b* практически не меняет температуру, поэтому можно считать, что через зону *b* переносится весь поток Ф, т. е. $Ф = Ф_п = Ф_0$.

На рис. 11.11 представлена схема гравитационного термосифона, в котором в отличие от тепловых труб возврат конденсата происходит под действием сил гравитации. Необходимым условием работы термосифонов является наличие гравитационных сил и расположение зоны конденсации *b* над испари-

тельной зоной *а*. Тепловые трубы могут иметь различные формы и конфигурации, обычно они стандартизованы по типоразмерам и функциональному назначению или специально изготовлены для охлаждения конкретного объекта.

Физические процессы и особенности конструкций ТТ придают им ряд особых качеств. Прежде всего в ТТ возможно транспортировать тепловые потоки порядка 10^{-2}–10^{-1} Вт/м^2, а также разветвлять тепловой поток по нескольким каналам. Низкое тепловое сопротивление транспортной зоны приводит к большой эффективной теплопроводности ТТ, которая в несколько раз превышает теплопроводность меди и серебра. Тепловая труба способна работать в любом положении вне зависимости от ориентации в пространстве и гравитации. Кроме того, при циркуляции теплоносителя внутри ТТ отсутствуют движущиеся детали, насос, а само устройство автономно.

Тепловые трубы принято характеризовать тремя группами параметров: теплофизических, конструктивных и стыковочных.

К теплофизическим параметрам относятся тепловой поток, передаваемый с помощью ТТ от источника теплоты в теплообменник при заданных условиях эксплуатации; уровень рабочих температур; термическое сопротивление R тепловой трубы, равное отношению разности среднеповерхностных температур стенок зоны испарения $t_{исп}$ и конденсации $t_{кон}$ к переносимому тепловому потоку.

Конструктивные параметры определяют внешние и внутренние особенности конструкции ТТ, а именно: конфигурацию и наружные размеры корпуса, испарительной, конденсационной и транспортной зон, толщину и материал стенок корпуса, устройство фитиля.

Стыковочные параметры характеризуют условия эксплуатации аппаратуры и способы сочетания последней с ТТ, например способ передачи теплоты от источника к ТТ, конструктивное оформление областей контакта в испарительной и конденсационной зонах, термическое сопротивление контакта.

Примеры применения тепловых труб в ЭС. В электронных средствах тепловые трубы могут выполнять ряд функций: с их помощью теплоотдающая поверхность может быть вынесена за пределы основных функциональных блоков и узлов; тепловые трубы позволяют создавать внутри приборов области сравнительно равномерного температурного поля и тем самым снижать механические напряжения, решать задачи термостабилизации и др.

В настоящее время известны примеры использования ТТ для охлаждения как отдельных теплонагруженных элементов и узлов, так и целых радиоэлектронных блоков и устройств. Рассмотрим некоторые примеры.

Пусть весь прибор охлаждается благодаря свободной вентиляции, но при этом возникает необходимость размещения внутри прибора теплонагруженного элемента или блока, требующего для нормальной работы принудительной вентиляции (рис. 11.12, *а*), а место для размещения вентилятора отсутствует. В этом случае с помощью ТТ тепловой поток может быть отведен на часть оребренного корпуса прибора (рис. 11.12, *б*).

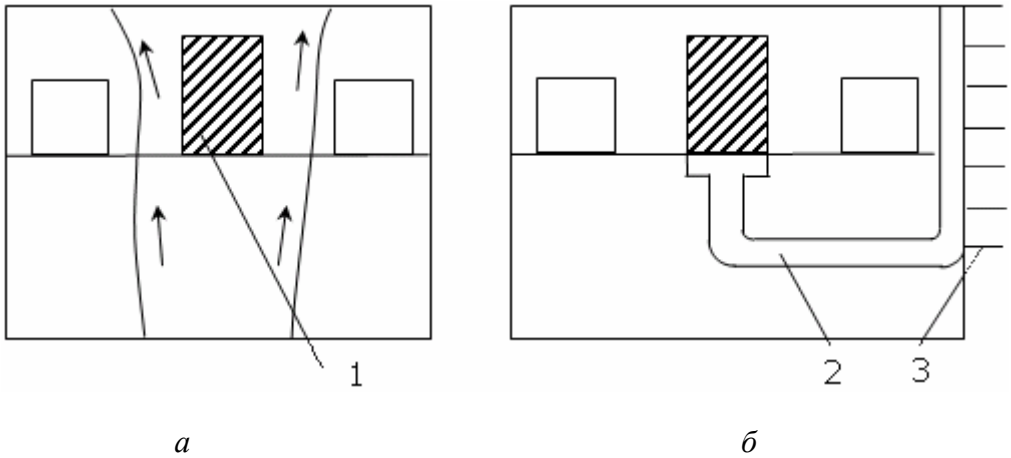


Рис. 11.12. Охлаждение отдельного теплонагруженного блока или элемента:
а – в условиях свободной вентиляции; *б* – с помощью ТТ;
1 – теплонагруженный элемент; *2* – тепловая труба; *3* – наружное оребрение корпуса

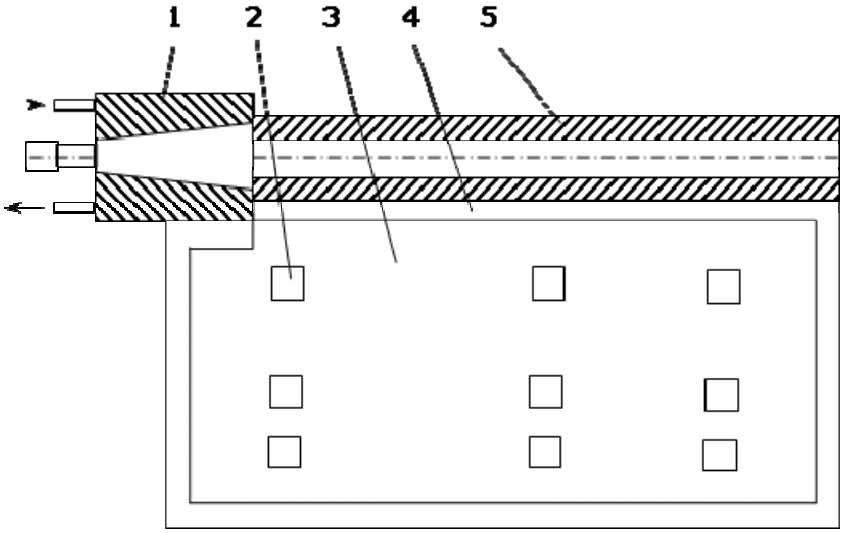


Рис. 11.13. Охлаждение платы с микросхемами при помощи ТТ

На рис. 11.13 показано одно из возможных решений отвода теплоты от платы с микросхемами: от микросхем *2* тепловой поток через монтажную плату *3* передается к металлической рамке *4*, в часть которой встроена тепловая труба *5*; зона конденсации выполнена в виде конуса, плотно вставленного в конусное отверстие теплообменника *1*. Такое решение позволяет избежать непосредственного омывания жидкостью конструкций ЭС.

Тепловые трубы используются также для охлаждения целых радиоэлектронных блоков, в аппаратуре с упорядоченной структурой элементов, во вторичных источниках питания. Применение ТТ в таких системах позволяет эффективно использовать корпус прибора как внешнюю поверхность теплообмена, увеличить компактность прибора, исключить контакт охлаждающей среды с элементами.

Контрольные вопросы

1. Какими способами осуществляется перенос тепла?
2. Что такое кондукция?
3. Что такое конвекция?
4. Что такое градиент?
5. Сформулируйте закон Планка.
6. Сформулируйте закон Ньютона – Рихмана.
7. Что такое диффузия?
8. Перечислите разновидности систем охлаждения.
9. Как выбирается система охлаждения для ЭС?
10. Перечислите виды радиаторов.

12. ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Лекция 35

П л а н л е к ц и и

12.1. Характеристика механических воздействий.
12.2. Виды и источники эксплуатационных механических воздействий.
12.3. Динамические характеристики, виды отказов и нарушения функционирования электронных средств при механических воздействиях.
12.4. Классификация и эффективность существующих методов защиты от механических воздействий.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [11, 14, 15].

12.1. Характеристика механических воздействий

Механическое воздействие (МВ) – это передаваемое на конструкцию аппаратуры и ее элементы некоторое количество механической энергии определенного спектрального состава за счет действия на конструкцию внешних или внутренних сил, приводящее к изменению исходного состояния конструкции.

Анализируя данное определение, можно выделить два момента:

- МВ только тогда считается воздействием, когда оно приводит к изменению исходного состояния конструкции аппаратуры, т. е. состояние механического покоя – в состояние возбуждения;
- МВ, приводя механическую силу конструкции в состояние возбуждения, передает ей некоторое количество механической энергии определенного спектрального состава, причем количество переданной энергии и ее спектральный состав определяют уровень и характер возбуждения конструкции аппаратуры. Допустимые уровни механического возбуждения конструкции определяются ее прочностью, стойкостью и устойчивостью к МВ.

12.2. Виды и источники эксплуатационных механических воздействий

В зависимости от временнóй функции, описывающей МВ, и среды, через которую они передаются, различают следующие виды механических воздействий: вибрацию, удар, линейные ускорения, акустические шумы, давление, комбинированные воздействия.

Указанные воздействия обычно относят к эксплуатационным (или транспортным), поскольку их действию конструкция аппаратуры подвергается в процессе эксплуатации на объекте установки.

Вибрация является наиболее распространенным видом МВ. Практически при любом транспортировании аппаратура подвергается воздействию вибрации.

На объекте установки аппаратуры вибрация обычно возникает за счет работы различных двигателей и механизмов, в которых имеются вращающиеся элементы или элементы знакопеременного движения, несбалансированные относительно своего центра масс. К ним могут относиться, например, турбины, электромоторы, вентиляторы, кулисные, рычажные, кулачковые и другие механизмы (рис. 12.1).

На аппаратуру могут действовать мощные знакопеременные электромагнитные поля, вызывающие локальную вибрацию ее отдельных частей или элементов за счет электромагнитных взаимодействий (рис. 12.2). Знакопеременные электромагнитные поля могут создавать электромоторы, трансформаторы, умформеры, электромашинные усилители и др.

Указанные источники вибрации относятся к внутренним источникам, поскольку они присущи данному объекту установки аппаратуры. Проявление их действия на аппаратуру желательно выявить и прогнозировать еще на этапе проектирования.

В отличие от внутренних внешние источники вибрации зависят от параметров среды, в которой происходит транспортирование объекта установки аппаратуры, скорости транспортирования и взаимодействия среды с объектом установки. Например, при движении транспортного средства по поверхности грунта транспортируемая аппаратура будет испытывать действие вибрации. Характер вибрации, ее амплитуда и частота зависят от многих факторов, в частности от характера неровностей грунта, скорости перемещения, жесткости рессор транспортного средства, жесткости системы виброизоляции самой аппаратуры, наличия ветра и других факторов (рис. 12.3).

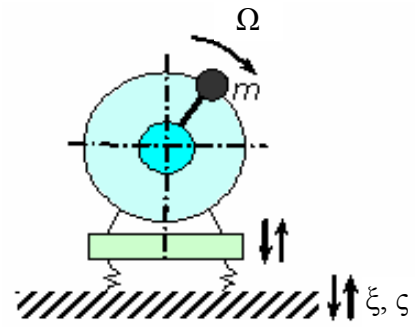


Рис. 12.1. Возбуждение вибрации за счет вращения несбалансированной массы

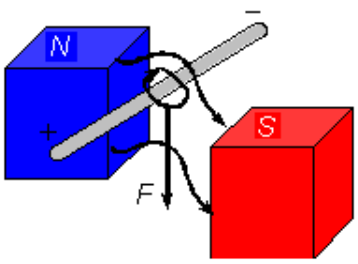


Рис. 12.2. Возбуждение вибрации за счет электромагнитных взаимодействий

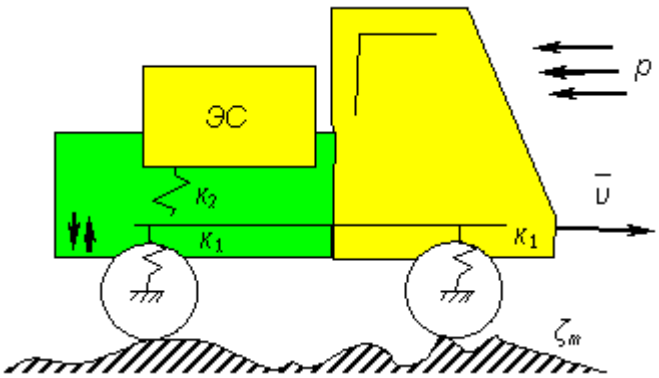


Рис. 12.3. Вибрация, возникающая при движении транспортного средства по поверхности грунта: $\vec{V}$ – вектор скорости движения; p – давление ветра; ζ – амплитуда неровностей грунта; k_1 – жесткость рессор; k_2 – жесткость системы виброизоляции аппаратуры

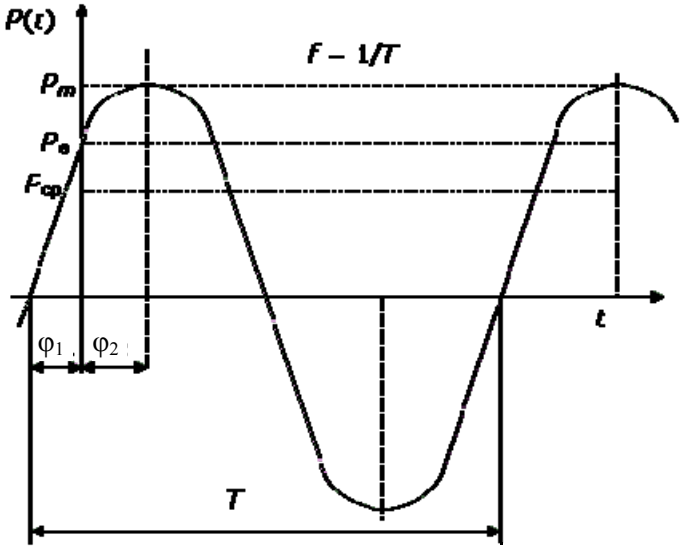


Рис. 12.4. Параметры гармонического вибрационного процесса

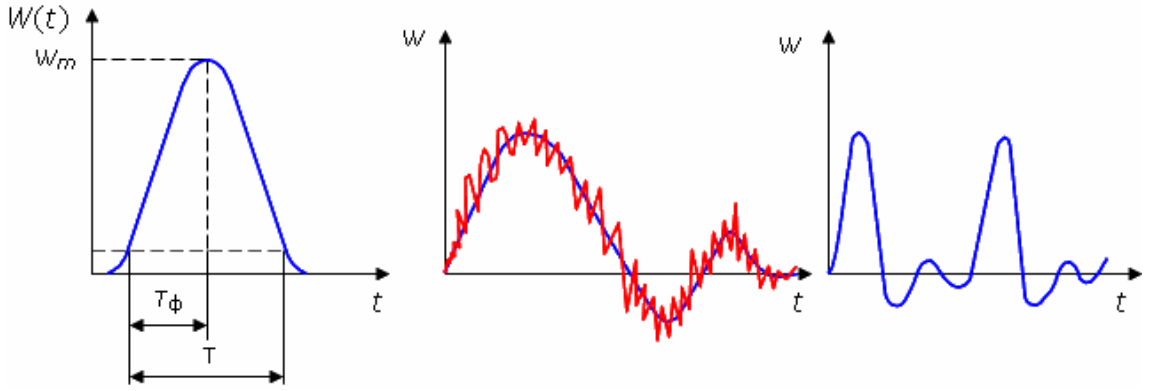
В соответствии с ГОСТ 24346 *вибрацией* называют движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин. Обычно при колебательном движении рассматриваемые точки материальных тел или среды перемещаются последовательно в одну и другую сторону от некоторого среднего положения.

Перемещение как параметр МВ представляет интерес в тех случаях, когда необходимо знать относительное смещение элемента конструкции или его деформацию (рис. 12.4). Если следует определить величину импульса $\overline{P}(t)$ тела или передаваемую на конструкцию кинетическую энергию $E_к$, то используют скорость вибрации $\vec{v}(t)$. Основным измеряемым параметром чаще является виброускорение $\vec{w}(t)$, так как оно позволяет непосредственно оценить величину силы $F(f)$, прикладываемой к элементу конструкции.

Удар обычно проявляется в однократном движении элементов конструкции, которое характеризуется одним моментом его возникновения и одним моментом окончания. Действие механического удара конструкция может испытывать по-разному. В одном случае действие удара может происходить при ударных взаимодействиях какого-либо тела с поверхностью конструкции (локальное действие удара), и тогда ударное механическое движение будет передаваться от частей, непосредственно воспринявших удар, к другим частям конструкции. В другом случае аппаратура может испытывать состояние резкого разгона или торможения, тогда все элементы конструкции ускоряются и тормозятся одинаково. Но действие удара будет зависеть от инерционных и упругих свойств различных элементов конструкции.

Источники ударного МВ могут находиться непосредственно на объекте установки аппаратуры или быть внешними по отношению к нему. К внутренним источникам можно отнести устройства и механизмы ударного действия, электромеханические контактные устройства, пневматические и гидравлические устройства, устройства разгона и торможения, пиротехнические устройства взрывного действия и др. Действие внешних источников обусловлено взаимодействием объекта установки аппаратуры с внешней средой: удары волн, порывы ветра, действие взрыва, перемещения со сверхзвуковыми скоростями, падения аппаратуры на грунт или воду и др. Среди внешних источников удара можно выделить и такие, действие которых проявляется в результате преобразования одного вида энергии в энергию МВ. К ним можно отнести тепловой удар при резком скачке температуры или действие электромагнитных излучений (ЭМИ).

Интенсивность ударного воздействия зависит от формы, амплитуды и длительности ударного импульса (рис. 12.5).



а б в

Рис. 12.5. Временные зависимости ударных процессов:
а – ударный импульс простой формы;
б – ударный импульс с наложенными колебаниями;
в – последовательность ударных импульсов

Формой ударного импульса называется зависимость ударного ускорения (ударной скорости, ударного перемещения, ударной деформации) от времени.

Линейные ускорения – вид механических воздействий, характерных для всех объектов, движущихся с переменной скоростью (например, при разгоне или торможении). Влияние линейных ускорений на элементы конструкции и ЭРЭ обусловлено инерционными силами, которые могут достигать и во много раз превышать силы тяготения.

Особенность действия линейных ускорений заключается в том, что возникающие инерционные силы являются всегда распределенными по объему конструкции.

Акустические шумы можно характеризовать как вибрационный волновой процесс, распространяющийся в газообразных, жидких и твердых средах и имеющий практически непрерывный частотный спектр.

Источником акустического шума чаще всего бывает вибрирующее твердое тело, механические колебания которого вызывают возбуждение звуковых волн в окружающей среде. Однако интенсивные акустические шумы могут генерироваться и непосредственно в газообразных и жидких средах вследствие различных физических явлений, происходящих в них. Примерами интенсивных акустических шумов природного происхождения являются грозовые разряды, во время которых генерируются также интенсивные ЭМИ.

Значительные акустические шумы возникают при работе реактивных двигателей, взрывах, стрельбе, движении транспортного средства со сверхзвуковыми скоростями и т. п. Однако конструктор ЭС должен иметь в виду, что действие акустических шумов может проявляться и в стационарной аппаратуре, например при работе электродинамических громкоговорителей. При этом может возникнуть так называемая *акустическая обратная связь*, приводящая к нарушению нормального функционирования аппаратуры.

Формой существования и распространения акустических шумов является, как было указано выше, *звуковая волна* – процесс распространения деформаций сжатия или разрежения в сплошной среде, происходящий с конечной скоростью (скоростью звука). Скорость звука зависит от параметров среды, в которой распространяется звуковая волна.

Звуковая волна может возникать и распространяться только в такой среде, которая обладает определенной упругостью (сжимаемостью) и инерционностью (плотностью). Реальная среда, кроме того, характеризуется еще и диссипативными свойствами, приводящими к потерям энергии волнового движения. Область среды, в которой возбуждены звуковые волны, называется *звуковым полем*.

Давление на конструкцию возникает, когда, например, внутри герметического корпуса аппаратуры имеет место разрежение или, напротив, повышение давления газовой среды.

Нормальное статическое давление атмосферы, под которым находится конструкция ЭС, составляет $P_а = 1{,}013 \cdot 10^5$ Па. При работе ЭС в верхних слоях атмосферы или под водой конструкция аппаратуры будет испытывать статическое механическое воздействие, связанное с изменением внешнего давления на корпус ЭС. Величина давления может быть определена как $P = F/S$, где F – сила, перпендикулярная к поверхности и равномерно распределенная по площади S корпуса ЭС. При заданной величине давления можно определить распределенную силу, а по ней – и уровень деформации, который будет испытывать корпус ЭС.

Уровни пониженного атмосферного давления, задаваемые на бортовых ЭС, лежат в пределах $(0–101) \cdot 10^3$ Па.

При погружении ЭС под воду на глубину 1 м дополнительный к атмосферному уровень давления на корпус составит $\Delta P = 9{,}81 \cdot 10^3$ Па.

Комбинированные, или комплексные, воздействия представляют собой одновременное действие МВ с бóльшим или меньшим преобладанием какого-либо их вида.

Характеристики такого МВ определяются путем векторного суммирования амплитуд единичных механических факторов при их одновременном действии на конструкцию.

Векторное суммирование единичных МВ в простых случаях может происходить вдоль одной координаты или в одной плоскости. В более сложных случаях векторное суммирование единичных МВ наблюдается по всем трем пространственным координатам.

По своему результату комбинированное МВ может оказаться более жесткой нагрузкой для аппаратуры, чем поочередное действие каждого единичного фактора. Одним из примеров комбинированного МВ является виброудар, представляющий собой ударный импульс с высокочастотным вибрационным заполнением.

12.3. Динамические характеристики, виды отказов и нарушения функционирования электронных средств при механических воздействиях

Под действием собственного веса или веса установленных ЭРЭ некоторые элементы конструкции аппаратуры прогибаются. В них при определенных технологических операциях могут накапливаться остаточные механические напряжения. В этих случаях физическое состояние конструкции и ее элементов определяется статическими характеристиками: жесткостью, прочностью, уровнями статических деформаций (прогибов) и др.

В отличие от статических характеристик динамические характеристики конструкции и ее элементов проявляются только в процессе МВ. К динами-

ческим характеристикам конструкции обычно относят: собственную частоту элементов конструкции, их механическую добротность, амплитуды перемещений, скорости и ускорения отдельных частей и элементов конструкции, амплитуды знакопеременных механических напряжений, поля распределения таких напряжений и другие характеристики, изменяющиеся в результате МВ.

Механические нагрузки различного характера (вибрационные, ударные и др.) могут приводить к взаимным перемещениям элементов аппаратуры за счет возникающих инерционных сил, что, в свою очередь, вызывает деформирование крепежных, несущих и других элементов аппаратуры (рис. 12.6).

Вид реакции аппаратуры и ее элементов на механические нагрузки определяется уровнем возникающих деформаций. При малых уровнях механических воздействий в элементах аппаратуры могут возникать упругие деформации. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к остаточным деформациям и механическим напряжениям. Увеличение нагрузки может привести к разрушению конструктивного элемента, которое наступает через определенное число циклов изменения нагрузки, зависящее от величины возникающего знакопеременного механического напряжения, или при достижении предельного уровня статического нагружения.

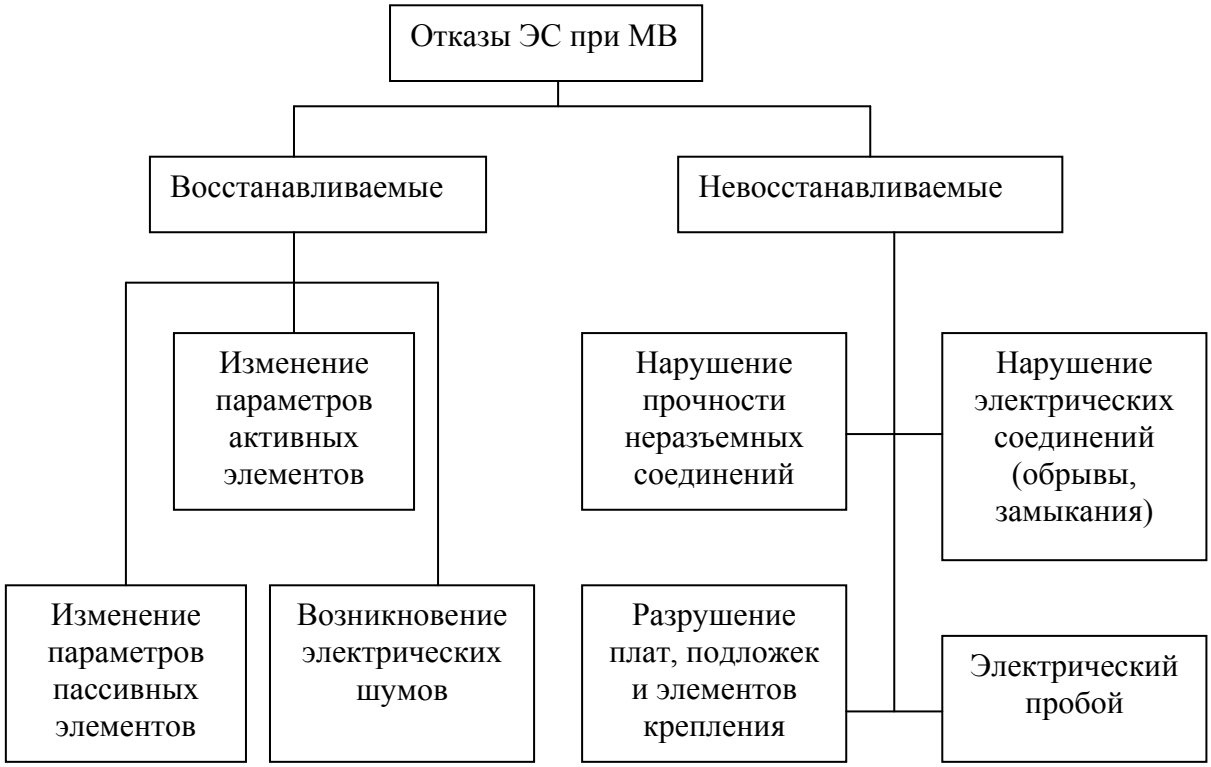


Рис. 12.6. Виды отказов аппаратуры при механических воздействиях

К причинам возникновения отказов и нарушений функционирования аппаратуры из-за механических воздействий можно отнести: обрывы проводников в платах; обрывы связей между слоями многослойных печатных плат; нарушение паяных, сварных и клеевых соединений; отрывы элементов и т. п.

Кроме чисто механических проявлений воздействия вибраций, ударов и акустических шумов в аппаратуре могут возникать электрические шумы за счет физических эффектов, вызванных преобразованием механической энергии, например, в электрическую или связанных с изменением параметров элементов. К подобным эффектам относят: тензоемкостный, тензорезистивный, пьезоэлектрический, электромагнитный и др.

12.4. Классификация и эффективность существующих методов защиты от механических воздействий

В зависимости от условий эксплуатации и особенностей конструкции защите от механических воздействий могут подвергаться как радиоэлектронные комплексы, так и отдельные их блоки, ячейки и элементы.

При проектировании ЭС прежде всего следует выяснить, нужны ли защитные мероприятия. С этой целью сравнивают оговоренные в технических условиях величины допустимых механических воздействий для предназначенных к использованию элементов (микросхем, транзисторов, резисторов и т. д.) с величинами механических воздействий на объекте установки ЭС. При этом величины воздействующих механических факторов следует скорректировать с учетом возможного резонансного усиления колебаний по пути их распространения от места установки блока до конкретного рассматриваемого элемента. В случае если уровни воздействующих механических факторов превышают допустимые, предусматривают защитные мероприятия с оценкой их эффективности.

Защитные системы от наиболее распространенных видов МВ, к которым относят вибрации и удары, могут быть пассивными и активными. Пассивные виброзащитные системы по сравнению с активными более просты в исполнении и не требуют для выполнения своих функций затрат дополнительной энергии.

Пассивные способы виброзащиты. К таковым относят:

- увеличение жесткости;
- демпфирование;
- использование виброизоляторов.

Такая классификация позволяет более четко уяснить физическую сущность каждого способа виброзащиты и оценить его эффективность с помощью амплитудно-частотной характеристики. Так, виброзащита за счет увеличения жесткости конструктивных элементов блоков, которое можно обеспечить применением ребер жесткости, отбортовок, оптимизацией геометрических размеров и другими способами, может быть пояснена с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), представленной на рис. 12.7. Из АЧХ следует, что если известен диапазон частот воздействующих вибраций, например от $f_н$ до $f_в$, то элементы конструкции будут находиться в относительно благоприятных условиях эксплуатации, если вывести значения

их собственных частот из диапазона частот воздействий, обеспечив выполнение соотношения $f_0 \geq 2 f_в$.

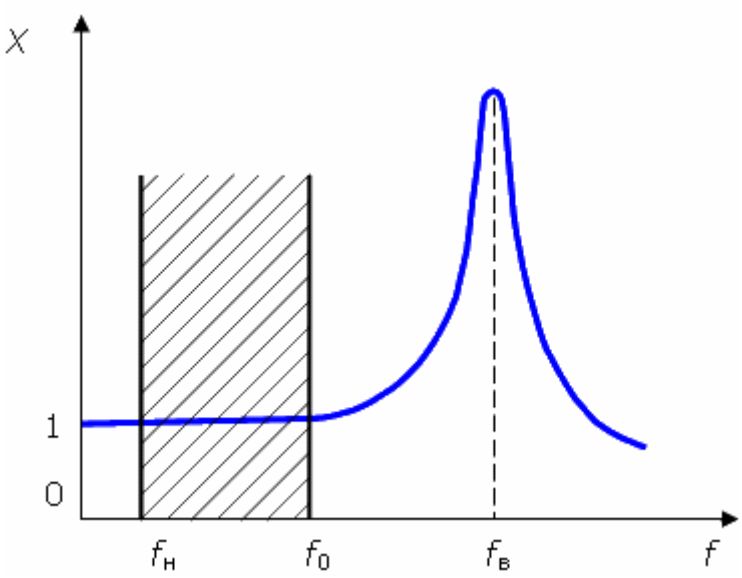


Рис. 12.7. Амплитудно-частотная характеристика
при увеличении жесткости конструктивных элементов

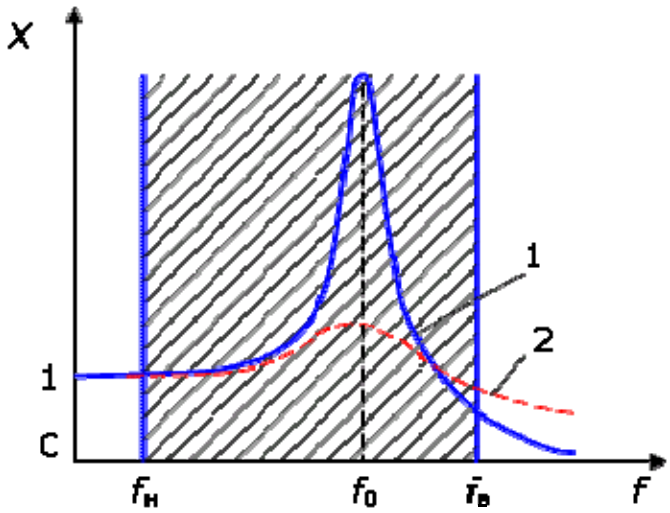


Рис. 12.8. Амплитудно-частотные характеристики при увеличении
степени демпфирования конструктивного элемента: *1* – слабое демпфирование;
2 – увеличенное демпфирование

В качестве критерия оценки эффективности виброзащиты часто служит значение коэффициента динамического усиления защищаемого объекта в диапазоне частот воздействующих вибраций. Используя этот критерий, можно констатировать, что рассматриваемый способ виброзащиты обеспечивает значение коэффициента динамического усиления $k \approx 1$.

Практика проектирования печатных плат показывает, что без применения демпфирующих покрытий значения их собственных частот должны обычно находиться в пределах 500–800 Гц. В этих же пределах или выше их

должны быть значения собственных частот стенок корпусов аппаратуры, в которых монтируются платы. В наибольшей степени этим требованиям отвечают литые корпусы с ребрами жесткости.

Использование демпфирующих покрытий и слоистых конструкций пояснено амплитудно-частотной характеристикой, представленной на рис. 12.8. Из приведенных характеристик следует, что этот способ виброзащиты эффективен в широком диапазоне частот воздействующих вибраций, который может захватывать и область частот собственных колебаний. В этом случае $k > 1$, но при резонансном возбуждении вибраций конструктивных элементов эффективность виброзащиты наибольшая, что следует из сравнения кривых *1* и *2*.

Вибропоглощающие покрытия рекомендуется использовать для плат минимально возможной жесткости, чтобы минимальная толщина слоя покрытия позволила обеспечить необходимый отбор энергии при резонансных колебаниях платы. По этой причине рекомендуется изготавливать корпуса с минимально допустимой жесткостью стенок, если предполагается применять в них высокоэффективные вибропоглощающие покрытия.

Эффективность использования виброизоляторов пояснена амплитудно-частотной характеристикой, изображенной на рис. 12.9. Данный способ виброзащиты наиболее эффективный из всех рассмотренных, так как только он обеспечивает получение значения коэффициента динамического усиления $k < 1$.

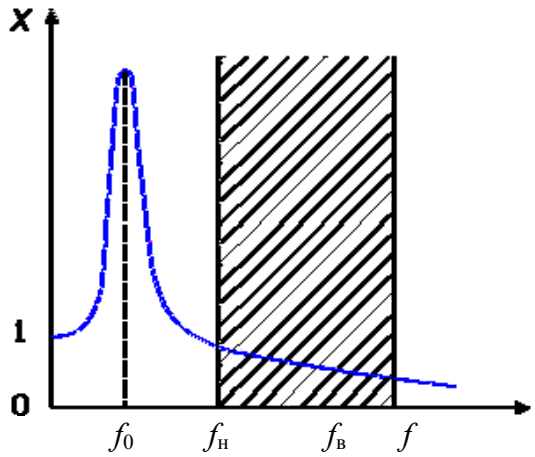


Рис. 12.9. Амплитудно-частотная характеристика виброизолированного объекта

Кроме рассмотренных выше наиболее употребительных способов виброзащиты в практике конструирования ЭС используют и другие: соответствующую ориентацию конструктивных элементов относительно направления вектора воздействующих вибраций; размещение наиболее чувствительных элементов блока в местах конструкции, характеризующихся малыми значениями коэффициента динамического усиления; применение виброустойчивых и вибропрочных ЭРЭ, транзисторов и ИС, элементов компенсации виброшумов, гибких печатных плат и др. Все эти способы виброзащиты также относят к пассивным.

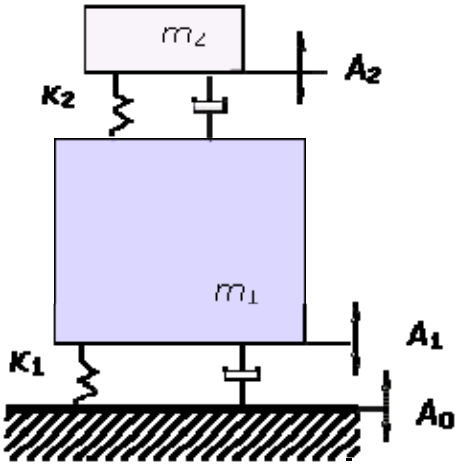
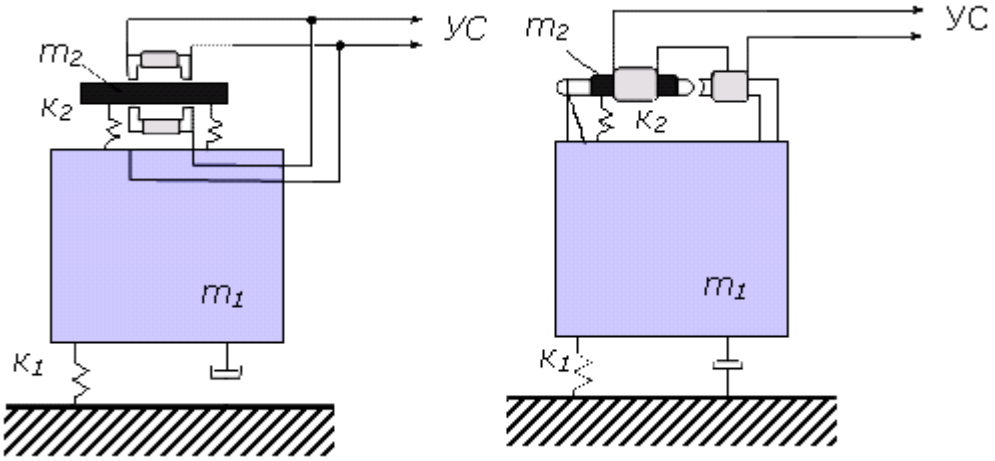


Рис. 12.10. Динамический виброгаситель



а *б*

Рис. 12.11. Варианты электрических исполнительных устройств активной виброзащиты:
а – с поступательными движениями динамического гасителя колебаний;
б – с поворотным якорем

В последние годы большое внимание уделяется и так называемым активным способам виброзащиты. Активная система виброзащиты строится, как правило, на основе динамического гасителя колебаний с регулированием величины его упругой связи. Динамический гаситель в качестве средства защиты известен давно и используется в случае необходимости защиты объектов от вибраций, характеризующихся постоянной частотой. Динамические гасители применяются также для улучшения динамических характеристик объектов и при ударных воздействиях.

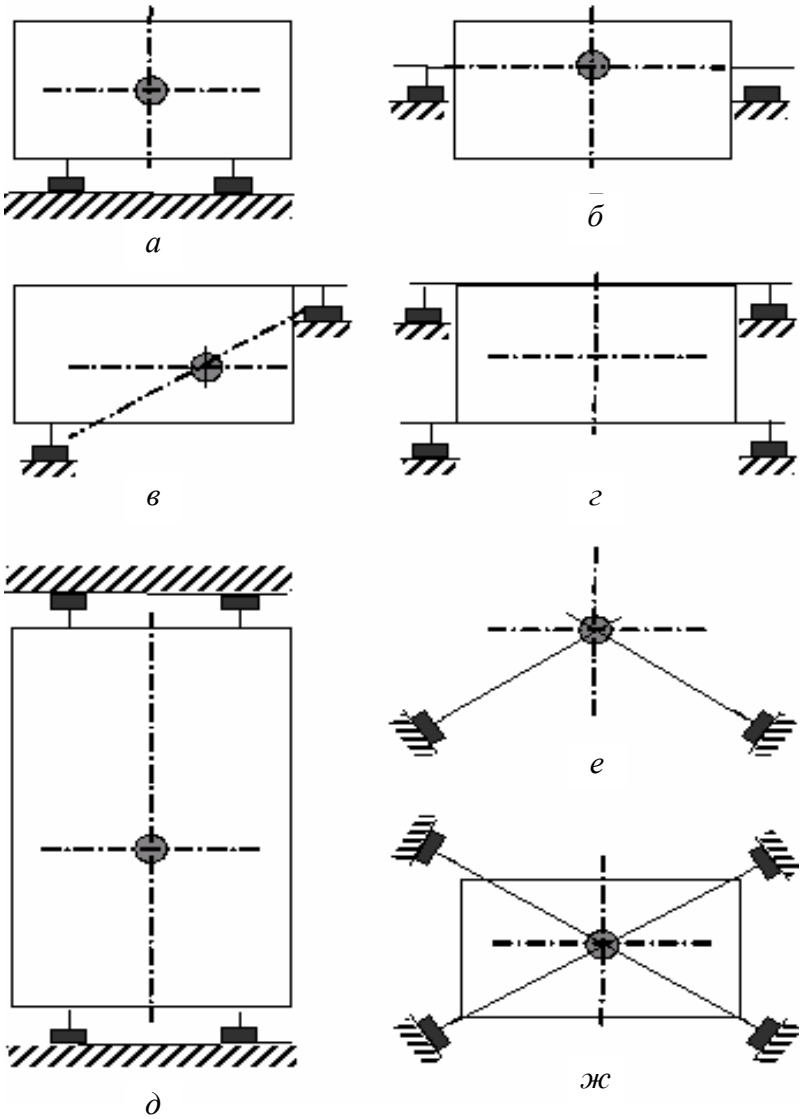


Рис. 12.12. Схемы монтажа виброизоляторов: *а* – нижний монтаж; *б* – монтаж в плоскости центра тяжести; *в* – монтаж в диагональной плоскости, проходящей через центр тяжести; *г* – монтаж в двух горизонтальных плоскостях; *д* – двусторонний монтаж; *е* – монтаж под углом односторонний; *ж* – монтаж под углом двусторонний

Динамический виброгаситель в простейшем случае представляет собой массу m_2, закрепленную с помощью пружины жесткостью k_2 к объекту защиты (рис. 12.10). Подбором величины массы m_2 и величины жесткости пружины k_2 обеспечивается такой режим колебаний, при котором амплитуда колебаний объекта A_1 минимальна на частоте возмущающих колебаний с амплитудой A_0.

Ввиду своей сильной частотной избирательности этот способ виброзащиты не нашел широкого распространения при организации защиты блоков, установленных на подвижных объектах, так как подобные условия эксплуатации не являются типичными для ЭС. Вместе с тем динамические виброгасители стали основой для построения систем активной виброзащиты, включающих системы автоматического регулирования, датчики, корректирующие

звенья, источники энергии и исполнительные устройства. Роль корректирующих звеньев, формирующих управляющий сигнал (УС) в системах активной виброзащиты, могут выполнять микропроцессоры, а исполнительные устройства могут быть электрическими, пневматическими и гидравлическими. Два варианта электрических исполнительных устройств систем активной виброзащиты представлены на рис. 12.11.

Применение виброизоляторов позволяет обеспечить наиболее эффективную защиту ЭС от вибраций и ударов. Установка радиоэлектронных блоков с виброизоляторами может быть осуществлена по различным схемам (рис. 12.12). Выбор схемы монтажа виброизоляторов определяется параметрами воздействующих вибрационных или ударных нагрузок, соотношением габаритных размеров защищаемого объекта, требованиями по обеспечению минимизации объема на объекте установки и т. д.

В настоящее время используют следующие разновидности виброизоляторов (рис. 12.13):

- резинометаллические;
- пружинные с воздушным демпфированием;
- пружинные с фрикционным демпфированием;
- цельнометаллические;
- специальные, например, с регулируемыми параметрами.

Расчет системы виброизоляции производят в такой последовательности:

1) выбирают тип виброизоляторов с учетом допустимых нагрузок и условий эксплуатации;

2) выбирают схему монтажа виброизоляторов с учетом особенностей расположения радиоэлектронного блока на объекте и условий динамического воздействия;

3) производят статический расчет системы виброизоляции;

4) выбирают конкретный типоразмер виброизоляторов с учетом результатов статического расчета;

5) производят динамический расчет системы виброизоляции.

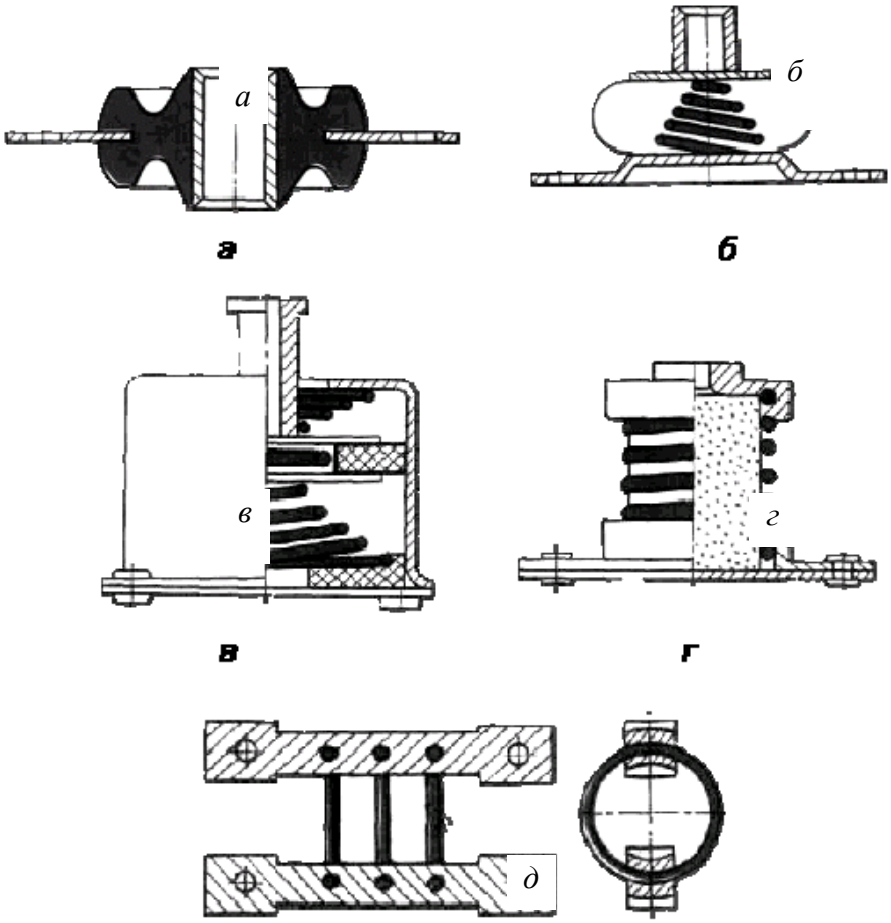


Рис. 2.13. Разновидности виброизоляторов: *а* – резинометаллический; *б* – пружинный с воздушным демпфированием; *в* – пружинный с фрикционным демпфированием; *г* – цельнометаллический; *д* – тросовый

Для выполнения расчета системы виброизоляции необходимо иметь следующие основные исходные данные: параметры внешних механических воздействий; условия эксплуатации аппаратуры; массу и основные габаритные и присоединительные размеры блока; допустимые уровни механических воздействий для защищаемого блока; характеристики используемых виброизоляторов.

Контрольные вопросы

1. Характеристика механических воздействий.
2. Расскажите о видах механических воздействий.
3. Что относят к динамическим характеристикам механических воздействий?
4. Перечислите виды отказов аппаратуры при механических воздействиях.
5. Классификация и эффективность существующих методов защиты.
6. Для чего применяют виброизоляторы?
7. Перечислите схемы монтажа виброизоляторов.
8. Перечислите виды применяемых виброизоляторов.

13. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТ ПОМЕХ

Лекция 36

П л а н л е к ц и и

13.1. Понятие «электромагнитная совместимость».
13.2. Источники и приемники наводок.
13.3. Защита от электрических полей.
Л и т е р а т у р а: [3, 14, 15].

13.1. Понятие «электромагнитная совместимость»

Под *электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств* (ГОСТ 23611–79) понимают способность этих средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных помех и не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам. При этом непреднамеренной считают любую радиопомеху, создаваемую источником искусственного происхождения, не предназначенную для нарушения функционирования ЭС.

С каждым годом возрастает актуальность вопросов электромагнитной совместимости разрабатываемой и эксплуатируемой ЭС. Это связано с несколькими причинами:

1) увеличивается быстродействие полупроводниковых приборов и электронных схем;

2) увеличивается количество и насыщенность используемых рабочих диапазонов радиоволн;

3) увеличивается количество электро- и радиоуправляемых объектов (непрерывное возрастание общего числа ЭС);

4) увеличивается чувствительность радиоприемных устройств;

5) внедрение энергоресурсосберегающих технологий с применением возможностей микросхемотехники приводит к увеличению количества устройств, работающих в режиме микротоков и пониженных напряжений питания (менее 3 В);

6) с развитием технологий конструкторско-производственных реализаций более просто решается вопрос создания источников электромагнитного излучения высокой мощности (передатчики в настоящее время могут генерировать излучение мощностью в единицы мегаватт).

Проблема электромагнитной совместимости ЭС стала настолько актуальной, что в рамках согласования национальных норм были разработаны европейские стандарты на электромагнитную совместимость, оформленные 9 ноября 1992 г. в Закон об электромагнитной совместимости (ЭМС).

Закон об ЭМС гласит, что не только радиотехнические установки, но и все электрические и электронные приборы, установки и системы должны быть сертифицированы специальными и имеющими разрешение организациями. Целью испытаний, проводимых этими организациями, является получение сертификационного знака CE, являющегося разрешением на эксплуатацию соответствующего прибора на территории государств, где данный закон принят как национальный.

13.2. Источники и приемники наводок

Для анализа паразитных электромагнитных воздействий необходимо определить следующие моменты:

- характер проявления помехи;
- пути распространения помехи;
- причину наводок.

Помеха может проявляться следующим образом:

- нестабильность источника питания;
- импульсная помеха по питанию;
- провалы по напряжению питания;
- «перенапряжения» по цепям питания;
- нарушения в цепях управления и синхронизации;
- помехи по цепям связи;
- искажения сигнала в цепях связи.

К *путям распространения* можно отнести:

- физические линии связи (провода, кабели, волноводы);
- эфир как среда распространения.

Причины наводок:

- источники высоких напряжений;
- источники больших токов;
- источники электромагнитного поля;
- несогласованность линий связи по входному и выходному импедансу (особенно для ВЧ- и СВЧ-трактов);
- неидеальность линий связи (наличие потерь и их зависимость от частоты);
- термоЭДС.

Рис. 13.1. Структура анализа паразитных электромагнитных воздействий

Для решения поставленной задачи обычно определяется и рассматривается следующая структура (рис. 13.1).

Источниками наводок являются:

- генераторы высокого напряжения;
- генераторы большого тока;
- генераторы электромагнитного поля;
- электрические машины (особенно коллекторные);
- выходные каскады усилителей;
- нагрузка на общее сопротивление источника и приемника наводок;
- «длинные» линии;
- термопары.

Электромагнитные помехи, создаваемые устройствами, не предназначенными для излучения электромагнитной энергии (источники электрической энергии, системы зажигания двигателей, электродвигатели, аппаратура промышленного и широкого потребления и т. д.), называются *индустриальными помехами*.

Приемниками наводок являются:

- радиовещательные приемники (особенно широкополосные);
- входные каскады усилителей;
- каскады с большим входным сопротивлением.

Пути распространения:

- электрическое поле (емкостная связь);
- магнитное поле (индуктивная связь);
- электромагнитное поле;
- проводники (гальваническая связь).

Высокоомные (электрические) поля можно представить как генераторы с высокоомным выходом, например: отключенная от нагрузки линия, штыревые антенны и открыто лежащие ненагруженные линии.

Низкоомные (магнитные) поля вызываются генераторами с низкоомной нагрузкой. Это характерно для нагруженных генераторов, пусковых токов электрических установок, а также дросселей и трансформаторов.

В дальней зоне отношение электрического поля к магнитному соответствует волновому сопротивлению свободного пространства и равно 377 Ом.

На конструкторско-технологическом этапе разработки ЭС основным способом обеспечения ЭМС является помехозащита с помощью:

- экранирования;
- фильтрации помех;
- заземления;
- корректного выполнения связей.

Любая цепь переменного тока характеризуется вектором электрического поля, связанным с потенциалом, и вектором магнитного поля, связанным с током. Эти составляющие поля могут воздействовать на близлежащие цепи, которые следует экранировать.

Когда поле изменяется во времени, его электрическая и магнитная составляющие существуют одновременно, хотя одна из них может быть больше другой. Если больше электрическая составляющая, то поле считают электрическим; если больше магнитная составляющая, то поле считают магнитным.

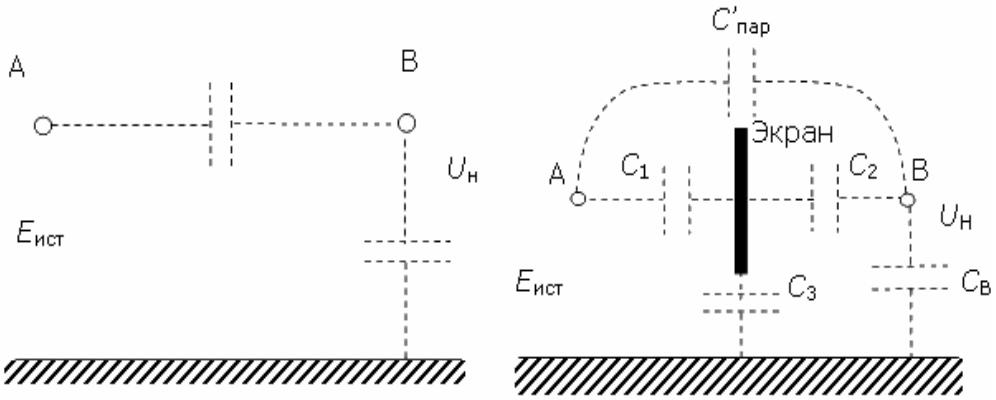
Обычно поле имеет ярко выраженный характер (электрическое или магнитное) вблизи своего источника на расстоянии порядка длины волны.

На расстоянии примерно 6 длин волн от источника излучения простого типа поле может распространиться в виде плоской волны, в которой энергия разделена на равные части между электрической и магнитной составляющими. Экран, эффективный при электрических и магнитных полях, обычно эффективен и для случая плоской волны.

13.3. Защита от электрических полей

По принципу экранирования различают электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное экранирование.

Электростатическое экранирование состоит в замыкании электрического поля на поверхности металлической массы экрана и передаче электрических зарядов на корпус устройства (рис. 13.2, *б*). Если, например, между элементом конструкции *А*, создающим электрическое поле, и элементом *В*, для которого влияние этого поля оказывается вредным, поместить экран, соединенный с корпусом устройства (землей), то он будет перехватывать электрические силовые линии, защищая тем самым элемент *В* от вредного влияния элемента *А*.



а б

Рис. 13.2. Действие экрана, не соединенного с корпусом прибора

Напряжение, наведенное на приемник без экрана, определяется по формуле

$$U_н = E_{ист} \frac{C_{пар}}{C_в + C_{пар}}. \qquad (13.1)$$

Наличие экранирующего листа разделяет емкость $C_{пар}$ на две последовательно соединенные емкости C_1 и C_2, к которым параллельно присоединена небольшая остаточная емкость $C'_{пар}$. Для определения напряжения $U_н$ можно,

пренебрегая емкостью $C'_{пар}$, считать, что напряжение в точке B определяется напряжением на экране $U_э$, который заменяет в этом случае точку A на рис. 13.2, *а*. Тогда

$$U_н = U_3 \frac{C_2}{C_в + C_2}. \qquad (13.2)$$

Напряжение на экране, с учетом тех же соображений и емкости C_3 между экраном и корпусом, будет

$$U_3 = E_{ист} \frac{C_1}{C_1 + C_3}. \qquad (13.3)$$

Тогда окончательно напряжение в точке B после установки экрана

$$U_н = E_{ист} \frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_3)(C_в + C_2)}. \qquad (13.4)$$

Это напряжение после установки экрана может оказаться как выше, так и ниже, чем до его установки. Действительно, сравнивая приведенные выражения для $U_н$ до и после установки экрана, можно получить разные результаты.

1. Если экран установлен так, что его емкость относительно точки A велика, а относительно корпуса мала, т. е. если C_1 значительно больше C_3, то напряжение на экране будет примерно равно напряжению в точке A. В результате, так как емкость C_2 всегда больше емкости $C_{пар}$, напряжение $U_н$ после установки экрана будет выше, чем до установки, и экран оказывается не полезным, а вредным.

2. Если экран установлен так, что его емкость C_3 относительно корпуса прибора велика, то напряжение при наличии экрана будет меньше, чем без него. Таким образом, с увеличением C_3 экранирование становится более эффективным.

Увеличение C_3 до ∞ равносильно короткому замыканию между экраном и корпусом (рис. 13.3).

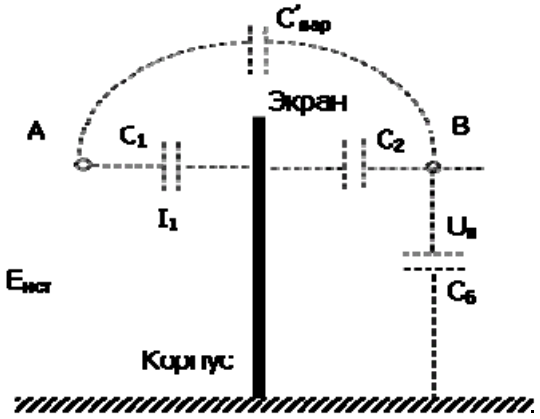


Рис. 13.3. Действие экрана, соединенного с корпусом прибора

Если при этом не учитывать остаточной паразитной емкости $C'_{пар}$ между точками A и B, то напряжение $U_н$ окажется равным нулю и показанная на рис. 13.3 конструкция экрана даст идеальный экранирующий эффект. В действительности напряжение $U_н$ не будет равно нулю, но его величина, определяемая из соотношения

$$U'_н = E_{ист} \frac{C'_{пар}}{C'_{пар} + C_2 + C_в} \approx E_н \frac{C'_{пар}}{C_2 + C_в}, \qquad (13.5)$$

оказывается значительно меньше величины $U_н$ до установки экрана, так как $C'_{пар}$ значительно меньше $C_{пар}$. На основании изложенного можно считать, что физический смысл экранирующего эффекта, получаемого от металлического листа, соединенного с корпусом прибора, заключается в создании короткого замыкания на корпус для большей части паразитной емкости, имеющейся между экранируемыми друг от друга точками.

Лекция 37

П л а н л е к ц и и

13.4. Магнитостатическое экранирование.
13.5. Экранирование электромагнитного поля излучения.
13.6. Фильтрация.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [3, 14, 15].

13.4. Магнитостатическое экранирование

Магнитостатическое экранирование основано на замыкании магнитного поля в толще экрана, происходящем вследствие его повышенной магнитопроводности. В данном случае материал экрана должен обладать большой магнитной проницаемостью.

Принцип действия магнитостатического экрана показан на рис. 13.4. Магнитный поток, создаваемый элементом конструкции (в данном случае проводом), замыкается в стенках магнитного экрана вследствие их малого магнитного сопротивления.

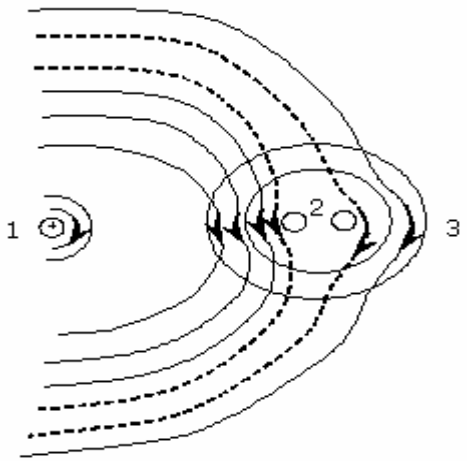


Рис. 13.4. Принцип действия магнитостатического экрана:
1 – влияющая цепь; *2* – цепь; *3* – экран

Эффективность такого экрана тем больше, чем больше его магнитная проницаемость и толщина. С увеличением размеров экрана его эффективность падает. Магнитостатический экран целесообразно использовать только при постоянном поле и в диапазоне низких частот.

13.5. Экранирование электромагнитного поля излучения

Если на пути распространяющейся в воздухе электромагнитной волны поставить экранирующий металлический лист толщиной d, то его действие определится двумя факторами: отражением волны от металлической поверхности экрана и затуханием преломленной волны в теле экрана.

Пусть (рис. 13.5) на металлический экран падает плоская волна $P_{пад}$ с векторами электрического $E_{пад}$ и магнитного $H_{пад}$ полей, параллельными плоскости экрана. В точке *1*, находящейся на границе сред «воздух – металл», произойдет частичное отражение падающей волны, в результате которого появится обратная волна P_1, и частичное преломление, в результате которого в тело экрана проникнет волна $P_{1м}$. Распространяясь в металлической среде, преломленная волна $P_{1м}$ будет затухать по экспоненциальному закону, и в точке *2*, расположенной на границе сред «металл – воздух», напряженности обоих полей будут в $e^{d/\delta}$ раз меньше, чем в точке *1*. В точке *2* снова произойдет преломление и отражение. Преломленная волна P_2 выйдет в экранируемое пространство, а отраженная волна $P_{2м}$ будет затухать в металле, и в точке *3* напряженности полей окажутся в $e^{2d/\delta}$ раз меньше, чем в точке *1*. Затем будут происходить отражения и преломления в точках *3*, *4*, *5*, ... до полного затухания волны в металле.

В экранируемое пространство будут проникать волны P_2, P_4, P_6, …, преломленные в точках *2*, *4*, *6*, ... Суммарное их воздействие определяет напряженности полей E и H за экраном. Напряженности полей волны P_4 будут в $e^{2d/\delta}$ раз меньше, чем волны P_2; волны P_6 – в $e^{4d/\delta}$ раз меньше, чем волны P_2, и т. д. Учтем, что экранирование электромагнитного поля излучения может

представлять интерес только на частотах не ниже 10^7 Гц, на которых, при толщине любых применяемых металлов $d > 0{,}1$ мм, эквивалентная глубина проникновения $\delta > 0{,}5d$. Взяв минимальное соотношение $d = 2\delta$, получим, что напряженности полей волны P_4 будут в 55 раз ($e^4 = 55$) меньше напряженностей полей волны P_2. Это позволяет упростить расчет, пренебрегая всеми волнами, поступающими в экранируемое пространство, кроме P_2. Ошибка при таком допущении не превышает 2 %.

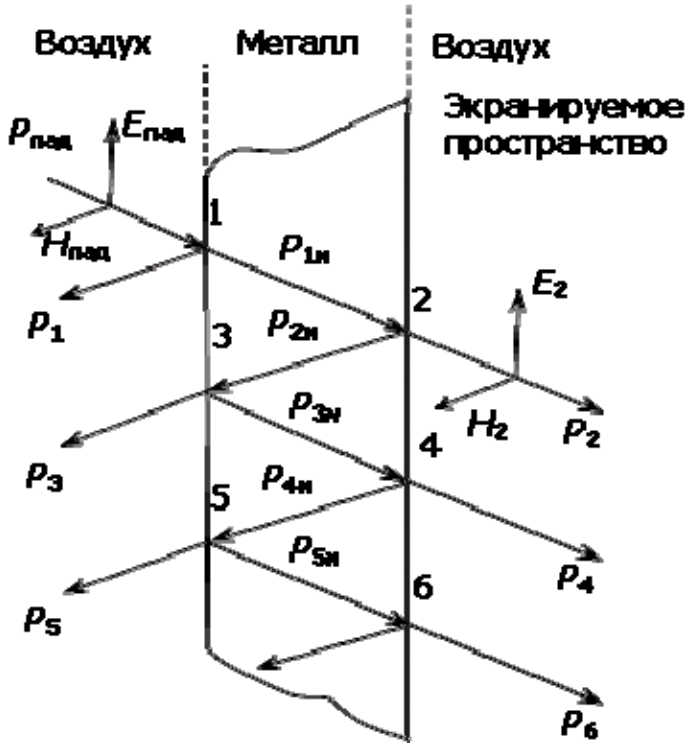


Рис. 13.5. Действие экрана на пути электромагнитной волны

Для расчета напряженности полей E_2 и H_2 в экранируемом пространстве рассмотрим процессы отражения и преломления электромагнитной энергии от границ сред «воздух – металл» и «металл – воздух». Они определяются соотношением между волновым сопротивлением воздуха $Z_{\text{с.возд}} = 377$ Ом, которое чисто активно, и модулем волнового сопротивления металла

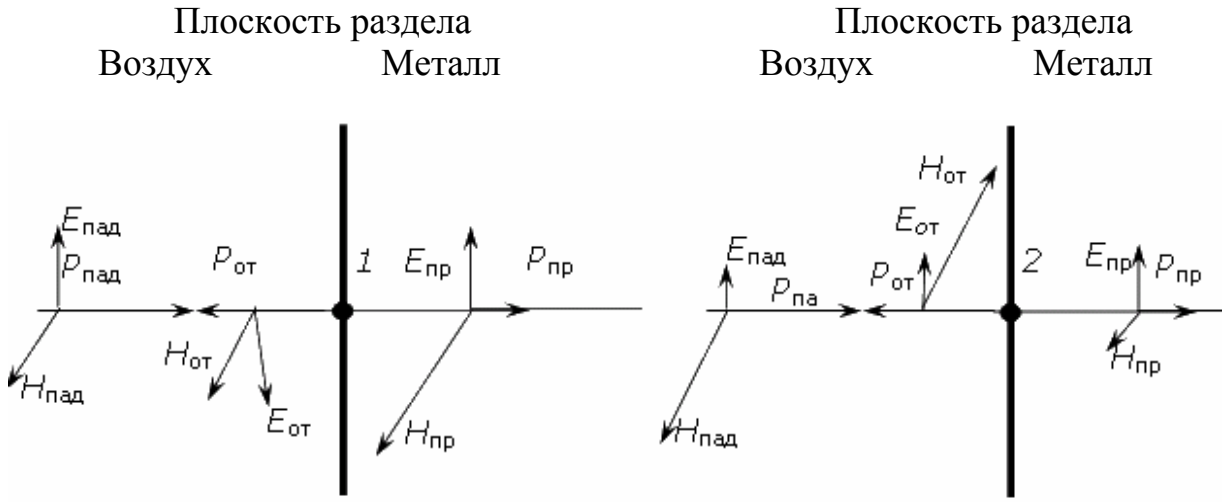
$$Z_{\text{с.мет}} = \sqrt{\omega\mu/\sigma}, \qquad (13.6)$$

который в сотни и тысячи раз меньше волнового сопротивления воздуха. При отражении происходит поворот на 180° фазы одного из векторов, составляющих падающую волну E или H, так как только в этом случае направление движения волны изменится на обратное. Отражение волны, распространяющейся в воздухе, от металлической поверхности сопровождается поворотом вектора E, а отражение волны, распространяющейся в металле, от поверхности раздела «металл – воздух» сопровождается поворотом на 180° вектора H.

Физически это объясняется тем, что экран имеет большую проводимость и на нем могут получаться только небольшие падения напряжения, даже при протекании больших токов.

Поверхность экрана почти эквипотенциальна, параллельный ей вектор электрического поля должен быть очень мал, что и обеспечивается появлением отраженной волны $P_{от}$ (рис. 13.6, *а*) с вектором $E_{от}$ обратного знака. В проникающей в металл волне электрическое поле $H_{пр}$ близко к нулю и энергия волны, распространяющейся в металле, почти целиком сосредоточена в магнитном поле $H_{пр}$. Соотношение между полями в металле $E_{пр}/H_{пр} = Z_{с.мет}$ соответствует малой величине волнового сопротивления металла. При переходе волны из металла в воздух отражающей поверхностью является воздух (рис. 13.6, *б*) и получающееся в нем магнитное поле определяется только малыми токами смещения. Уменьшение магнитного поля $H_{пр}$ по сравнению с полем в металле $H_{пад}$ обеспечивается поворотом на 180° отраженного вектора $H_{от}$. В результате в вышедшей за пределы экрана волне восстанавливается соотношение между векторами $E_{пр}$ и $H_{пр}$, соответствующее величине $Z_{с.возд} = 377$ Ом.

Рассмотренное выше подобно отражению электромагнитной волны, движущейся вдоль несогласованной длинной линии. Если она на конце закорочена, то отраженная волна напряжения противоположна по фазе падающей волне и результирующее напряжение равно нулю, как и должно быть при коротком замыкании. Волна тока отражается без изменения фазы, и результирующий ток короткого замыкания в два раза больше тока, протекающего через согласованную нагрузку. При разомкнутой линии волна тока отражается со сдвигом фазы на 180° по отношению к падающей волне. Результирующий ток равен нулю, как и должно быть в разомкнутой цепи. Волна напряжения отражается без изменения фазы, и результирующее напряжение в два раза больше напряжения на конце согласованной линии.



а б

Рис. 13.6. Отражение и преломление электромагнитной волны

Определим коэффициенты преломления электрической и магнитной волн для плоскостей раздела сред «воздух – металл» и «металл – воздух». Напряженности электрического и магнитного полей в обеих средах плоскости раздела должны иметь одинаковые значения. Поэтому, в соответствии с рис. 13.6, *а*, для плоскости раздела «воздух – металл» можно записать

$$E_{\text{пад}} + E_{\text{от}} = E_{\text{пр}}, \tag{13.7}$$

$$H_{\text{пад}} - H_{\text{от}} = H_{\text{пр}}. \tag{13.8}$$

Учитывая, что

$$E_{\text{пад}}/H_{\text{пад}} = E_{\text{от}}/H_{\text{от}} = Z_{\text{с.возд}},$$

$$E_{\text{пр}}/H_{\text{пр}} = Z_{\text{с.мет}},$$

в уравнении (13.7) можно сделать замену:

$$E_{\text{пад}}/Z_{\text{с.возд}} + E_{\text{от}}/Z_{\text{с.возд}} = E_{\text{пр}}/Z_{\text{с.возд}}. \tag{13.9}$$

Решая совместно (13.7) и (13.9), после преобразований получим величину коэффициента преломления волны *E* при переходе из воздуха в металл:

$$\text{К}^{E}_{\text{прел}} = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{2Z_{\text{с.мет}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}}. \tag{13.10}$$

Произведя замену в (13.8), получаем уравнение

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{пад}} Z_{\text{с.возд}} - H_{\text{от}} Z_{\text{с.мет}}, \tag{13.11}$$

решая которое, после преобразований получим величину коэффициента преломления волны *H* при переходе из воздуха в металл:

$$\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \frac{H_{\text{пр}}}{H_{\text{пад}}} = \frac{2Z_{\text{с.возд}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}}. \tag{13.12}$$

Аналогично, на основании рис. 13.6, *б*, составляются уравнения

$$E_{\text{пад}} + E_{\text{от}} = E_{\text{пр}},$$

$$H_{\text{пад}} - H_{\text{от}} = H_{\text{пр}},$$

в которые вводятся значения волновых сопротивлений сред

$$Z_{\text{с.мет}} = E_{\text{пад}}/Z_{\text{пад}} = E_{\text{от}}/H_{\text{от}},$$

$$Z_{\text{с.возд}} = E_{\text{пр}}/H_{\text{пр}},$$

а после совместных решений и преобразований получаются величины коэффициентов преломления волн E и H при переходе из металла в воздух:

$$\text{К}^{E}_{\text{прел}} = \frac{2Z_{\text{с.возд}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}}, \tag{13.13}$$

$$\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \frac{2Z_{\text{с.мет}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}}. \tag{13.14}$$

Сравнивая полученные значения коэффициентов преломления для рассмотренных четырех случаев, можно установить, что они имеют две разные, резко отличные величины.

Большой коэффициент преломления

$$\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \text{К}^{E}_{\text{прел}} = \frac{2Z_{\text{с.возд}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}} \tag{13.15}$$

получается в тех случаях, когда отражающая поверхность имеет большую проводимость для поля H (почти короткое замыкание) или малую проводимость для поля E (почти холостой ход). При уменьшении $Z_{\text{с.мет}}$ эти коэффициенты растут медленно, и, когда $Z_{\text{с.мет}} \to 0$, $\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \text{К}^{E}_{\text{прел}} \to 2$, что соответствует приведенной выше аналогии с длинной линией.

Малый коэффициент преломления

$$\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \text{К}^{E}_{\text{прел}} = \frac{2Z_{\text{с.мет}}}{Z_{\text{с.возд}} + Z_{\text{с.мет}}} \tag{13.16}$$

получается, когда отражающая поверхность имеет большую проводимость для поля E или малую проводимость для поля H. При $Z_{\text{с.мет}} \to 0$ $\text{К}^{H}_{\text{прел}} = \text{К}^{E}_{\text{прел}} \to 0$, что также соответствует аналогии с длинной линией.

Возвращаясь к рис. 13.5, определим напряженности полей E и H в точках *1* и *2*. Преломленная волна $P_{1\text{м}}$ будет иметь в точке *1* напряженности $E_{\text{пад}}$ и $H_{1\text{м}} = K^{\text{Н}}_{\text{прел}} + H_{\text{пад}}$. Распространяясь в металлической среде, эта волна будет затухать по экспоненциальному закону, и в точке *2* ее напряженности уменьшатся до

$$E'_{1\text{м}} = \text{К}^{E}_{\text{прел}} = e^{-d/\delta} E_{\text{пад}},$$

и

$$H'_{1м} = К^{H}_{прел} = e^{-d/\delta} H_{пад}.$$

После преломления в точке *2* волна P_2, вышедшая в экранируемое пространство, будет иметь напряженности

$$E_2 = К^{E}_{прел} E'_{1м} = К^{E}_{прел} К^{E}_{прел} e^{-d/\delta} E_{пад},$$

$$H_2 = К^{H}_{прел} H'_{1м} = К^{H}_{прел} К^{H}_{прел} e^{-d/\delta} H_{пад}.$$

На основании (13.15) и (13.16) установим, что входящие в последние две формулы произведения коэффициентов преломления для полей E и H имеют одну величину

$$К^{E}_{прел} К^{E}_{прел} = К^{H}_{прел} К^{H}_{прел} = \frac{4 Z_{с.мет} Z_{с.возд}}{(Z_{с.возд} + Z_{с.мет})^2}. \qquad (13.17)$$

Отсюда следует, что эффективность экранирования электромагнитного поля излучения, одинаковая для полей E и H, составляющих волну, будет

$$Э = \frac{E_{пад}}{E_2} \frac{H_{пад}}{H_2} e^{d/\delta} \frac{(Z_{с.возд} + Z_{с.мет})}{4 Z_{с.мет} + Z_{с.возд}} >> \frac{e^{d/\delta} Z_{с.возд}}{4 Z_{с.мет}}. \qquad (13.18)$$

13.6. Фильтрация

Когда элементы электрической цепи требуется освободить от взаимного влияния, используют так называемые *развязывающие фильтры*. Действие подобных фильтров состоит в ослаблении влияния переменного напряжения источника нежелательного сигнала, находящегося в одной части цепи, на часть цепи, в которой величина этого сигнала должна быть по возможности минимальной.

Принципиальная схема одного из возможных вариантов электрической цепи с развязывающими фильтрами показана на рис. 13.7. Здесь U – напряжение источника нежелательного сигнала; U_1, U_2, …, U_n – напряжение в различных участках цепи; z_1, z_2, …, z_n – сопротивление участков цепи.

Из схемы рис. 13.7 нетрудно определить напряжения в ее различных точ-ках (полагая $z_1 >> z_2$, $z_3 >> z_4$, …, $z_{n-1} >> z_n$, что часто имеет место на практике):

$$U_1 = U \frac{z_1}{z_1 + z_2} \approx U \frac{z_2}{z_1};$$

$$U_1 = U\frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}; \qquad (13.19)$$

$$U_1 = U\frac{z_1 z_3 z_5 \ldots z_{n\text{-}1}}{z_2 z_4 z_6 \ldots z_n}.$$

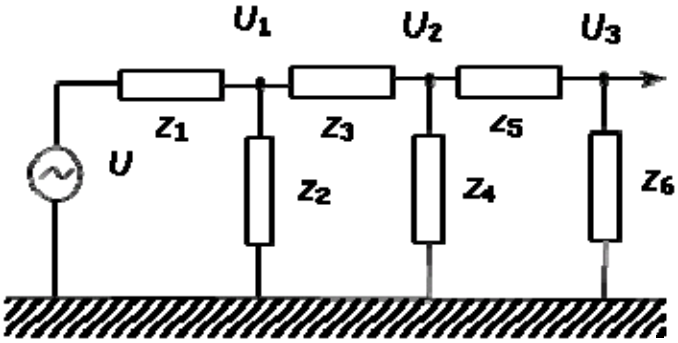


Рис. 13.7. Принципиальная схема цепи с развязывающими фильтрами

Ослабление, даваемое всей схемой:

$$\beta = \frac{U}{U_n}\frac{z_1 z_3 z_5 \ldots z_{n-1}}{z_2 z_4 z_6 \ldots z_n}. \qquad (13.20)$$

На рис. 13.7 показана цепь, состоящая из последовательного ряда Г-образных фильтров. Это самый распространенный вид фильтров.

Из уравнения (13.20) следует, что величина β теоретически может быть любой. Однако на практике β всегда выражается конечным и часто не очень большим числом. Объясняется это рядом причин. Так, если в качестве последовательных сопротивлений используются резисторы, то очевидно, что не всегда допустима их большая суммарная величина.

При использовании в качестве сопротивлений z_1, z_2, …, z_n конденсаторов ограничивающим фактором будет их емкость, а для сравнительно высоких частот – и их индуктивность.

Если в качестве последовательных сопротивлений применяются индуктивности, то и в этом случае получить большую величину ослабления не удается. Это обусловливается тем, что выполнить катушку индуктивности с большой величиной собственной частоты (т. е. при большой индуктивности иметь малую паразитную емкость) крайне трудно. Поэтому полное сопротивление такой катушки обычно не превышает 10^4–10^5 Ом. Причем большая величина относится к сравнительно небольшим частотам (менее 10^6 Гц) и к довольно большим габаритам катушек.

Контрольные вопросы

1. С чем связан рост актуальности вопросов электромагнитной совместимости разрабатываемых и эксплуатируемых ЭС?
2. Какие моменты необходимо определить для анализа паразитных электромагнитных воздействий?
3. За счет чего осуществляется электростатическое экранирование?
4. В чем сущность магнитостатического экранирования?
5. Какие типы фильтров вы знаете?

14. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лекция 38

П л а н л е к ц и и

14.1. Классификация опасных факторов.
14.2. Область применения требований по безопасности.
14.3. Классы аппаратуры по электробезопасности.
14.4. Маркировка ЭС.
14.4.1. Общие требования.
14.4.2. Требования к маркировке соединителей и клемм.
14.4.3. Маркирование взрывозащищенного оборудования.
Л и т е р а т у р а: [28, 40].

Цель требований, предъявляемых к безопасной аппаратуре, – обеспечение защиты людей и окружающей среды.

Термин «защита окружающей среды» включает также понятие «защита естественной окружающей среды», в которой находится аппаратура, предназначенная для использования, т. е., если говорить о жизненном цикле аппаратуры, это будет: производство, использование, обслуживание, размещение и возможное повторное использование частей аппаратуры в конце жизненного цикла.

Особое внимание к требованиям безопасности уделяется при проектировании бытовых и аналогичных ЭС, поскольку с ними работает неподготовленный пользователь. Поэтому рассматриваемый далее материал изложен главным образом применительно к указанным ЭС. Требования по обеспечению безопасности других устройств оговариваются особо.

14.1. Классификация опасных факторов

Возникновение травм или повреждений при работе с аппаратурой может произойти из-за опасных факторов, приведенных на рис. 14.1 (ГОСТ Р МЭК 60065).

Поражение электрическим током возникает в результате прохождения электрического тока через тело человека. Токи порядка миллиампера могут вызвать определенную физиологическую реакцию у здоровых людей и вторичные опасности вследствие непроизвольной реакции. Токи более высоких значений могут оказывать более разрушительное действие на организм человека.

В табл. 14.1 приведены примеры причин возникновения поражения электрическим током и способы их предотвращения.

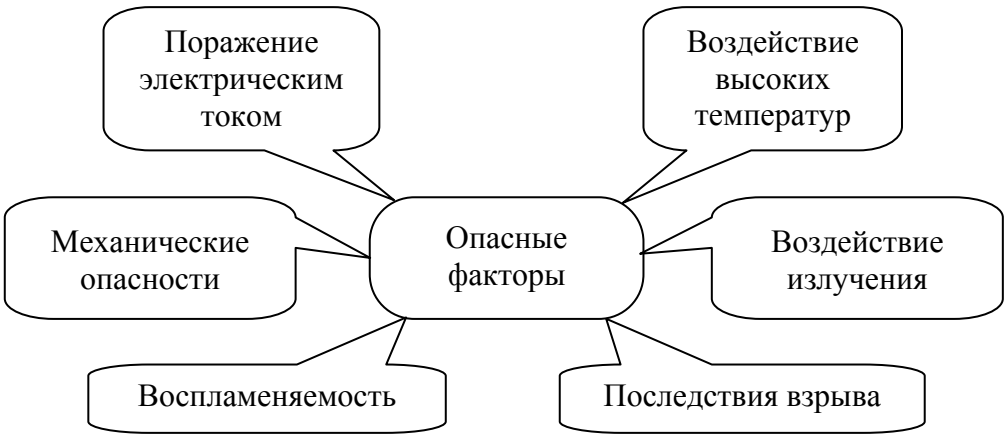


Рис. 14.1. Опасные факторы при работе с ЭС

Таблица 14.1

Причины возникновения поражения электрическим током и способы их предотвращения

Причина	Способ предотвращения
Контакты с частями, обычно находящимися под опасным напряжением	Предотвратить доступ к частям с опасным напряжением применением постоянно закрепленных или запертых кожухов
Пробой изоляции между частями, обычно находящимися под опасным напряжением, и доступными частями	Применить двойную либо усиленную изоляцию между частями, обычно находящимися под опасным напряжением, и доступными частями так, чтобы пробой не мог произойти, или соединить доступные части с защитным заземлением, чтобы напряжение, которое может появиться, было снижено до безопасного значения.
Пробой изоляции между частями, находящимися под опасным напряжением, и цепями с неопасным напряжением, вследствие чего доступные части и соединители оказываются под опасным напряжением	Разделить части, находящиеся под опасным напряжением, и доступные части двойной или усиленной изоляцией так, чтобы пробой не мог произойти, или соединить доступные части с защитным заземлением, чтобы напряжение, которое может появиться, было снижено до безопасного значения
Воздействие тока от прикосновения к частям, находящимся под опасным напряжением, через тело человека	Ограничить ток от прикосновения до безопасного значения либо обеспечить соединение доступных частей с защитным заземлением

Для того чтобы обеспечить защиту от возможных опасностей более высоких напряжений, появляющихся на частях, к которым можно прикоснуться, или частях ручного управления, необходимо их заземлить или соответствующим образом изолировать.

Части, к которым возможно прикосновение, обычно обеспечиваются двумя уровнями защиты от поражения электрическим током из-за неисправ-

ности. Тогда одна неисправность или любые последующие неисправности не будут создавать опасности.

Такие защитные меры, как дополнительная изоляция или защитное заземление, должны рассматриваться только как дополнительные. Их применение не является *заменой* или *освобождением* от необходимости использования основной изоляции, спроектированной должным образом.

Воздействие высоких температур. Травмы от воздействия высоких температур возможны:

- при контакте с доступными частями при повреждении изоляции от воздействия высоких внутренних температур;
- из-за механической неустойчивости, вызываемой возникновением высоких температур внутри аппаратуры.

Механические опасности. Для предотвращения травм от этого вида опасностей аппаратура и ее части должны:

- иметь надежную механическую прочность и устойчивость;
- не иметь острых кромок;
- иметь охрану или блокировку опасных движущихся частей.

Последствия взрыва. Травмы от этого вида опасных факторов являются в основном последствиями взрыва кинескопов.

Воспламеняемость может произойти в результате:

- перегрузок;
- неисправности компонента;
- пробоя изоляции;
- плохих соединений;
- дугового пробоя.

Рекомендуется применение следующих предупредительных мер:

- использование подходящих компонентов и сборочных узлов;
- предотвращение высоких температур, которые могут вызвать воспламенение при нормальных режимах работы или при неисправностях;
- исключение применения возможных источников воспламенения, таких как не отвечающих требованиям контактов, плохих соединений, обрывов;
- ограничение количества используемых горючих материалов;
- проверка расположения горючих материалов относительно возможных источников воспламенения;
- применение материалов с высокой сопротивляемостью к воспламенению около потенциальных источников возгорания;
- применение герметизации или перегородок для ограничения распространения пламени внутри аппаратуры;
- использование материалов с достаточной огнестойкостью для изготовления кожуха.

Воздействие излучения. Применение в ЭС лазеров создает опасность получения травм от высоких энергетических уровней лазерного излучения. Для предотвращения травм ограничивают либо доступ к источникам излучения, либо мощность излучения до безопасных значений.

Другим источником опасности для человека могут являться устройства отображения информации, например электронно-лучевые трубки. К ним в первую очередь предъявляются требования к качеству изображения.

Качество изображения считается допустимым, если соблюдаются следующие условия:

- размер изображения по горизонтали составляет не менее 70 % используемой ширины экрана;
- минимальная яркость синхронизированного изображения белого поля не менее 50 кд/м^2;
- разрешающая способность по горизонтали в центре не менее 1,5 МГц при аналогичном ухудшении разрешающей способности по вертикали;
- за каждые 5 мин не более одного высоковольтного пробоя.

Аппарат, включающий в себя потенциальный источник ионизирующего излучения, должен иметь конструкцию, обеспечивающую защиту человека от воздействия ионизирующего излучения, как при нормальных условиях работы, так и в условиях неисправностей.

Измерение мощности экспозиционной дозы излучения проводят в любой точке за пределами аппарата, расположенной на расстоянии 5 см от его внешней поверхности, с помощью дозиметра, имеющего эффективную площадь 10 см^2.

Мощность экспозиционной дозы излучения не должна превышать 36 пА/кг (0,5 мР/ч).

14.2. Область применения требований по безопасности

Требования по обеспечению безопасности обычно распространяют на бытовую аппаратуру, работающую при следующих условиях:

нормальные условия эксплуатации:

- температура окружающей среды от 15 до 35 °С;
- относительная влажность воздуха не более 75 %;
- использование на высотах не более 2000 м над уровнем моря, главным образом в сухих помещениях и в регионах с умеренным или тропическим климатом;
- питание от сети с номинальным напряжением питания, не превышающим:

250 В переменного однофазного или постоянного напряжения;

433 В переменного напряжения для аппаратуры, подключаемой к сети питания, содержащей более одной фазы.

В Австралии, Канаде, Дании, Японии, Румынии, ЮАР, США и Великобритании рассматриваемые требования по безопасности применяются, где

это приемлемо, как руководство для проектирования аппаратуры, работающей на батареях.

14.3. Классы аппаратуры по электробезопасности

В соответствии с ГОСТ 12.2.007 установлено пять классов защиты: 0; 0I; I; II; III.

К классу 0 должны относиться изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую (основную) изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III.

К классу 0I должны относиться изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую (основную) изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

К классу I должны относиться изделия, в которых защита от поражения электрическим током не ограничивается только основной изоляцией, а включает дополнительные меры безопасности, предусматривающие подключение доступных токопроводящих частей к защитному проводу заземления, предусмотренному в конструкции аппарата. Такое подключение должно исключить возможность нахождения доступных токопроводящих частей под опасным напряжением в случае пробоя основной изоляции.

В случае если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом. Аппарат этого класса может иметь части, отвечающие требованиям к аппарату класса II.

К классу II должны относиться изделия, в которых защита от поражения электрическим током не ограничивается только основной изоляцией, а включает дополнительные меры безопасности, например использование двойной или усиленной изоляции. В этих аппаратах не предусматривают элементов подключения защитного заземления и выполнение специальных условий монтажа.

К классу III должны относиться изделия, не имеющие ни внутренних, ни внешних электрических цепей с напряжением свыше 42 В.

Бытовая аппаратура, разработанная для питания от сети, должна быть выполнена в соответствии с требованиями к аппаратам класса I или класса II.

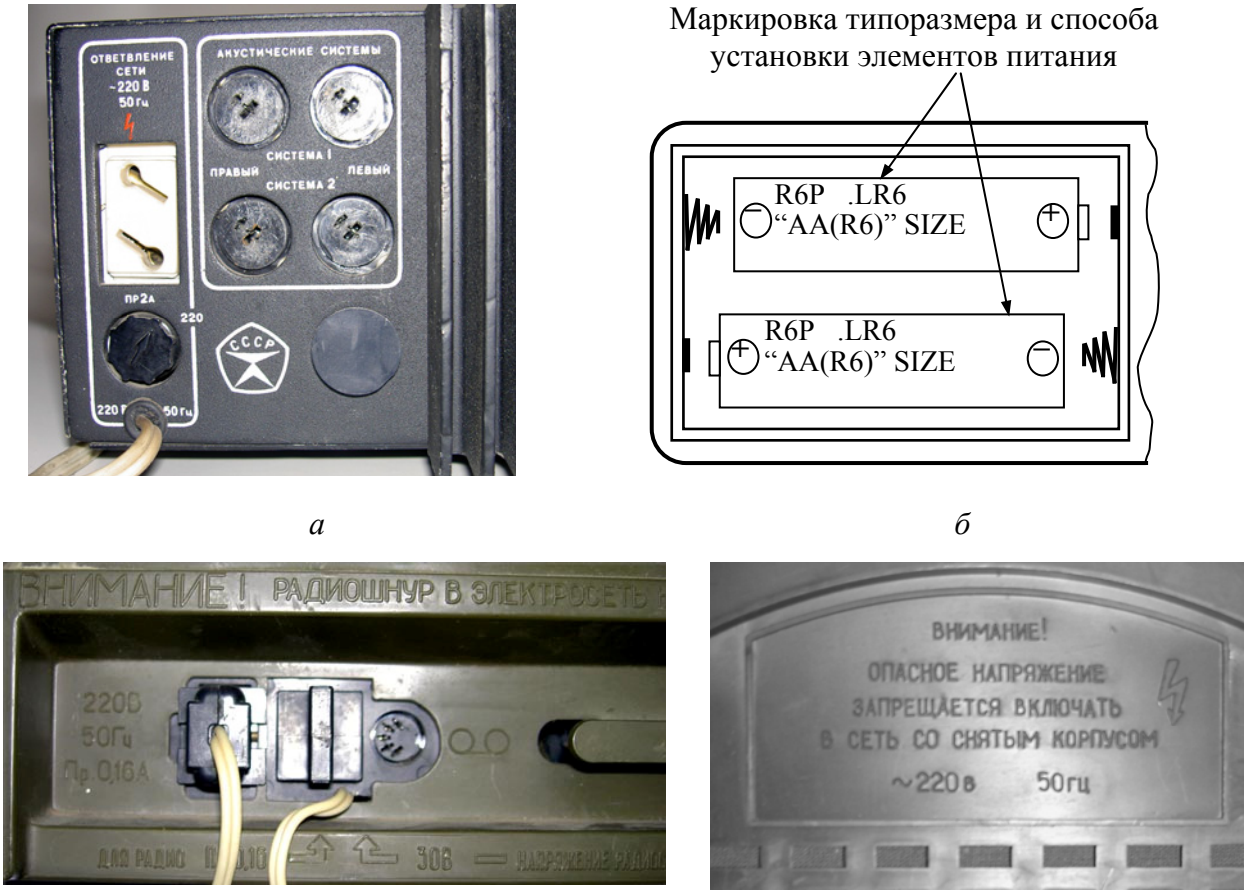
14.4. Маркировка ЭС

Кроме конструктивно-технологических решений по обеспечению безопасности на изделия ЭС обязательно наносится маркировка, буквенно-цифровая или символьная, к которой предъявляются определенные требования.

14.4.1. Общие требования

Маркировка на аппарате, готовом к эксплуатации, должна быть постоянной, однозначно понимаемой и легко различимой.

Информацию следует наносить преимущественно снаружи аппарата (рис. 14.2, *а*, *в*), за исключением нижней части. Однако допускается располагать маркировку в легко доступном вручную месте, например под крышкой (рис. 14.2, *б*) или на внешней стороне дна портативного аппарата или аппарата, масса которого не превышает 7 кг (рис. 14.2, *г*), и при условии, что в инструкции по эксплуатации указано место размещения маркировки.



а *б* *в* *г*

Рис. 14.2. Расположение маркировок: *а* – на задней панели усилителя; *б* – в отсеке питания пульта управления телевизором JVC; *в* – на задней панели приемника трехпрограммного проводного вещания; *г* – на нижней крышке ЭПУ «Лидер-306 моно»

Маркировка не наносится на прибор, если ее выполнение технологически затруднено (малогабаритные изделия и т. п.). При этом необходимые данные указываются на упаковке или в технической эксплуатационной документации. В последнем случае на приборе указывается знак . ⚠ от знак наносится также рядом с частями, представляющими опасность, и в том случае, когда при работе с прибором необходимо применять особые меры предосторожности, указанные в технической документации.

Графические символы должны соответствовать МЭК 60027 или государственным стандартам на соответствующий тип аппаратуры.

Маркировка, наносимая на аппарат, должна содержать следующие данные:

- наименование изготовителя или ответственной поставляющей организации, торговая марка или фирменный знак;
- обозначение номера модели или типа;
- знак КЛАССА II – ⧈ если необходимо;
- вид питания;
- номинальное напряжение питания или диапазон номинальных напряжений питания, которые могут подаваться без предварительного переключения устройства установки напряжения;
- номинальная частота сети (или диапазон частот) в герцах;
- номинальный ток потребления или номинальная мощность;
- маркировка потребляемой мощности.

Вид питания:

- только переменный ток обозначается символом ~;
- только постоянный ток обозначается символом ⎓;
- переменный или постоянный ток обозначается символом ≂.

Номинальные значения напряжений, выбираемые пользователем, должны разделяться косой чертой, например 110/230 В, а диапазон номинальных напряжений должен указываться через тире, например 110–230 В.

Номинальная частота сети (или *диапазон частот*) маркируется в том случае, если от правильного выбора частоты сети зависит безопасность.

Номинальный ток потребления или *номинальная мощность* потребления маркируются на аппаратуре, которая может питаться от источника питания общего назначения. Эта информация может быть приведена в инструкции по эксплуатации.

Потребляемая мощность маркируется на изделиях, предназначенных для подключения к сети питания, имеющей более одной фазы.

Для механических выключателей, управляемых вручную, положение «включено» обязательно должно быть указано.

Маркировка положения «включено» символом ◯ пускается только для всеполюсных сетевых выключателей.

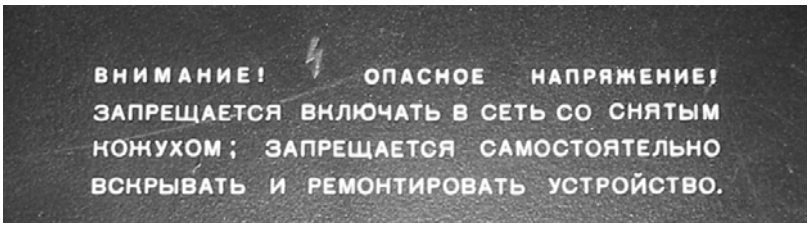


Рис. 14.3. Пример предупреждающей маркировки, расположенной на нижней крышке прибора

Если в приборе отсутствует механическая защитная блокировка и потенциально возможен доступ пользователя к частям, представляющим опасность, то на аппарат должна быть нанесена предупреждающая маркировка, пример которой приведен на рис. 14.3.

14.4.2. Требования к маркировке соединителей и клемм

Маркировка, наносимая на соединители и клеммы, должна быть следующая.

Соединители, являющиеся опасными для жизни при нормальных условиях работы, за исключением соединителей, предназначенных для подключения к сети питания, должны быть маркированы символом ϟ

Розетки, предназначенные для обеспечения сетевого питания другой аппаратуры, должны иметь маркировку максимально допустимой потребляемой мощности или тока.

Клемма для подключения провода защитного заземления, входящего в состав провода питания, маркируется символом ⏚ Этот символ не должен использоваться для обозначения других заземляющих клемм.

Выходные клеммы, предназначенные для обеспечения питания другой аппаратуры, за исключением сетевого питания, должны иметь маркировку номинального выходного напряжения и, кроме того, маркировку максимального выходного тока, если при самой неблагоприятной нагрузке температура может превысить допустимые значения, указанные в табл. 14.2.

Это требование относится к аппаратуре, у которой на выходных клеммах отсутствует обозначение типа аппарата, подключение которого допускается.

Плавкие вставки должны иметь следующую маркировку, наносимую на каждый держатель плавкого предохранителя или вблизи с плавкой вставкой, в следующем порядке:

- символ, обозначающий амперсекундную характеристику, например:
  F – быстродействующий;
  T – замедленный;
- номинальный ток в миллиамперах для значений номинального тока до 1 А и в амперах для значений номинального тока более 1 А;
- символ, обозначающий отключающую способность плавкой вставки, например:
  L – низкая отключающая способность;
  E – повышенная отключающая способность;
  H – высокая отключающая способность.

Таблица 14.2

Допустимое превышение температуры частей аппарата

Части аппарата	Условия нормальной работы, К	Условия неисправностей, К
Доступные части		
Кнопки, ручки и т. п.:		
металлические	30	65
неметаллические	50	65
Корпуса:		
металлические	40	65
неметаллические	60	65
Части, обеспечивающие электрическую изоляцию		
Шнуры питания и провода с изоляцией:		
поливинилхлорид	60	100
натуральный каучук	45	100
Другие изоляционные материалы:		
непропитанная бумага	55	70
непропитанный картон	60	80
пропитанные бумага и текстиль	70	90
слоистые материалы на основе целлюлозы или текстиля, скрепленные эпоксидной смолой	120	150
Литые детали из материалов:		
фенолформальдегид или фенолфурфурол, меламин и меламинофенол в сочетании с целлюлозными наполнителями	100	130
термоотвердевающий полиэстер с минеральными наполнителями	95	150
алкид с минеральными наполнителями	95	150
Составные материалы:		
полиэстер, усиленный стекловолокном	95	150
эпоксидная смола со стекловолокном	100	150
силиконовая резина	145	190
Провода обмоток, изолированные:		
непропитанным шелком, хлопком и др.	55	75
пропитанным шелком, хлопком и др.	70	100
материалами из олеосмол	70	135
поливинилформальдегидными или полиуретановыми смолами	85	150
полиэстеровыми смолами	120	155
полиэстеромидными смолами	145	180
Другие части:		
литиевые батареи	40	50
другие части, за исключением резисторов и частей из металла, стекла и керамики	200	300

П р и м е р ы маркировки: T315L или T315 мAL; F1,25H или F1,25AH.

Допускается размещать маркировку где-либо в другом месте, но при условии, чтобы было понятно, к какому держателю плавкого предохранителя относится маркировка.

14.4.3. Маркирование взрывозащищенного оборудования

Все ЭС, работающие во взрывоопасных средах, кроме обязательной потребительской маркировки, регламентируемой для соответствующих изделий, должны иметь маркировку по взрывозащите (ГОСТ 12.2.020, ГОСТ Р 51330.0, ГОСТ Р 51330.10).

Маркировка взрывозащиты электрооборудования должна выполняться рельефными знаками на видном месте оболочки электрооборудования, на основной части корпуса или на табличке, прикрепляемой к оболочке таким способом, чтобы была обеспечена ее сохранность в течение всего срока службы электрооборудования.

Маркировка взрывозащищенного электрооборудования группы II должна содержать данные в приведенной ниже последовательности:

- наименование изготовителя или его зарегистрированный товарный знак;
- обозначение типа электрооборудования;
- знак уровня взрывозащиты;
- знак Ex, указывающий, что электрооборудование соответствует стандартам на взрывозащиту конкретного вида;
- обозначение вида взрывозащиты;
- обозначение группы электрооборудования;
- знак температурного класса электрооборудования;
- порядковый номер изделия;
- название или знак органа по сертификации и номер сертификата (при выдаче сертификата);
- специальные условия для обеспечения безопасности в эксплуатации;
- любую другую дополнительную маркировку, предписываемую стандартами на взрывозащиту конкретных видов;
- любую маркировку, требуемую стандартами на электрооборудование конкретного вида.

Маркировка уровня взрывозащиты. Для *электрооборудования группы I* принята следующая маркировка:

РП – для электрооборудования повышенной надежности против взрыва;

РВ – для взрывобезопасного электрооборудования;

РО – для особовзрывобезопасного электрооборудования.

Для *электрооборудования группы II* маркировка уровня взрывозащиты производится цифровым кодированием:

2 – для электрооборудования повышенной надежности против взрыва;

1 – для взрывобезопасного электрооборудования;

0 – для особовзрывобезопасного электрооборудования.

Маркировка вида взрывозащиты:

o – масляное заполнение оболочки для электрооборудования группы II и заполнение негорючей жидкостью для электрооборудования группы I;

p – заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением;

q – кварцевое заполнение оболочки;

d – взрывонепроницаемая оболочка;

e – защита вида *e*;

ia – искробезопасность, уровень *ia* (категория *ia*);

ib – искробезопасность, уровень *ib* (категория *ib*);

ic – искробезопасность, уровень *ic* (категория *ic*);

m – герметизация компаундом;

n – защита вида *n*;

s – специальный вид взрывозащиты.

Искробезопасные цепи уровня ia не должны вызывать воспламенение взрывоопасной смеси в предписанных стандартом условиях испытаний от теплового воздействия, а от искрений – с вероятностью большей 10^{-3} в каждом из следующих случаев:

- при нормальной работе и введении всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия;
- при нормальной работе, введении одного учитываемого и всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия;
- при нормальной работе, введении двух учитываемых и всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия.

Искробезопасные цепи уровня ib не должны вызывать воспламенение взрывоопасной смеси в предписанных стандартом условиях испытаний от теплового воздействия, а от искрений – с вероятностью большей 10^{-3} в каждом из следующих случаев:

- при нормальной работе и введении всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия;
- при нормальной работе, введении одного учитываемого и всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия.

Искробезопасные цепи уровня ic не должны вызывать воспламенение взрывоопасной смеси в предписанных стандартом условиях испытаний от теплового воздействия, а от искрений – с вероятностью большей 10^{-3} при нормальной работе и введении всех неучитываемых повреждений, создающих наиболее опасные условия.

В случае использования на различных частях электрооборудования различных видов взрывозащиты, каждая соответствующая часть должна

иметь обозначение принятого в ней вида взрывозащиты. Если в электрооборудовании используют взрывозащиту нескольких видов, на первом месте ставят обозначение основного вида взрывозащиты, а затем других видов.

Классификация аппаратуры, работающей во взрывоопасных средах. Данная аппаратура подразделяется на две группы:

группа I – для электрооборудования, предназначенного для подземных выработок шахт и рудников и их наземных строений, опасных по рудничному газу и/или пыли;

группа II (подгруппы IIA, IIB, IIC) – для электрооборудования внутренней и наружной установки, предназначенного для применения в местах с потенциально взрывоопасной газовой средой, кроме шахт и их наземных строений, опасных по рудничному газу и/или пыли.

Буквы A, B, C характеризуют подгруппу в соответствии с категорией взрывоопасности смеси, для которой оно предназначено, исходя из значения безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ) или в зависимости от значения соотношения между минимальным током воспламенения испытуемого газа или пара и минимальным током воспламенения (МТВ) лабораторного метана.

Классификация по значению БЭМЗ:

- категория взрывоопасности IIA: БЭМЗ св. 0,9 мм;
- категория взрывоопасности IIB: БЭМЗ от 0,5 до 0,9 мм;
- категория взрывоопасности IIC: БЭМЗ менее 0,5 мм.

Классификация по предельному значению соотношения МТВ:

- категория взрывоопасности IIA: МТВ св. 0,8;
- категория взрывоопасности IIB: МТВ от 0,45 до 0,8;
- категория взрывоопасности IIC: МТВ менее 0,45.

Если электрооборудование предназначено для применения только в одном газе, сразу за обозначением II должна следовать химическая формула (или название) газа.

Например, PBExdI/1ExdIIBT3 или PBExdI/1ExdII(NH_3).

Знак *температурного класса* электрооборудования выбирается по табл. 14.3.

Таблица 14.3

Обозначение температурного класса электрооборудования

Температурный класс	Предельная температура, °C	Температурный класс	Предельная температура, °C
T1	450	T4	135
T2	300	T5	100
T3	200	T6	80

Для электрооборудования группы II указывают обозначение температурного класса, или максимальную температуру поверхности, или же то и другое вместе. Если в маркировке указаны оба этих данных, температурный

класс должен указываться последним, в скобках. На кабельных вводах температурный класс не маркируют. Например:

T1, или 350 °C, или 350 °C (TI).

Электрооборудование, имеющее максимальную температуру поверхности выше 450 °C, должно маркироваться лишь нанесением значения температуры, например «600 °C».

Электрооборудование, предназначенное для применения в определенном газе, не требует указания значения температуры.

Порядковый номер *не проставляется*:

- на присоединительную арматуру (кабельные и трубные вводы, заглушки, промежуточные платы, розетки и вилки соединителей и проходные изоляторы);
- миниатюрное оборудование с ограниченной поверхностью.

В качестве альтернативы порядковому номеру изделия может рассматриваться номер партии.

Специальные условия для обеспечения безопасности в эксплуатации маркируются знаком X, размещаемым после маркировки взрывозащиты. Этот знак включается в маркировку по требованию испытательной организации. В качестве дополнения к маркировке взрывозащиты для Ex-компонента используется знак U. Знаки X и U не следует применять вместе.

Ex-компонент – часть взрывозащищенного электрооборудования, которую отдельно во взрывоопасной среде не используют.

Ex-компоненты должны иметь следующую маркировку на видном месте:

- наименование или зарегистрированный товарный знак изготовителя;
- обозначение типа Ex-компонента;
- обозначение Ex;
- обозначение каждого примененного вида взрывозащиты;
- обозначение группы взрывозащищенного комплектующего изделия;
- наименование или знак органа по сертификации;
- обозначение сертификации и знак U, нанесенный после маркировки взрывозащиты;
- дополнительную маркировку, предписываемую стандартами на конкретные примененные виды взрывозащиты;
- маркировку, требуемую стандартами на комплектующие взрывозащищенные изделия.

Таблица 14.4

Маркировка различных видов взрывозащищенного оборудования

Наименование электрооборудования	Вид взрывозащиты	Группа (подгруппа) и температурный класс электрооборудования	Маркировка взрывозащиты
Электрооборудование повышенной надежности против взрыва	Защита вида *е*	Группа II, температурный класс Т6	2ExeIIT6
Взрывобезопасное электрооборудование	Взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс Т3	1ExdIIAT3
Особовзрывобезопасное электрооборудование	Искробезопасная электрическая цепь	Подгруппа IIC, температурный класс Т6	1ExsIIT6
	Искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс Т4	0ExidIIAT4

Маркировка взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования группы I должна состоять из двух частей. В первой части указывается уровень взрывозащиты, во второй части, располагаемой правее или ниже первой, – остальная часть маркировки. Например:

PB ExdibI PO Exiasl или PB ExdibI PO Exiasl

Примеры маркировки различных видов взрывозащищенного оборудования группы II приведены в табл. 14.4.

На малогабаритном электрооборудовании и на Ex-компонентах с ограниченной поверхностью количество маркировки может быть сокращено, тем не менее в ней обязательно должно быть отражено следующее:

- наименование или зарегистрированный товарный знак изготовителя;
- на электрооборудовании – знак Ex и обозначение уровня и вида взрывозащиты, а на Ex-компонентах – знак Ex и обозначение вида взрывозащиты;
- наименование или знак органа по сертификации;
- обозначение типа электрооборудования или Ex-компонента;
- обозначение сертификата;
- знак X для электрооборудования, если он предусмотрен, или знак U для Ex-компонента.

Примеры маркировки сертифицированного электрооборудования. *Электрооборудование во взрывонепроницаемой оболочке для применения в шахтах, опасных по рудничному газу (метану)*:

АО «Логика»
Тип КСЛ.1М
PBExdl

№ 325

Сертиум № РОСС RU.АЮ30.В00018

Ex-компонент, частично во взрывонепроницаемой оболочке и частично с искробезопасными электрическими цепями, для применения в помещениях и наружных установках с взрывоопасными средами, кроме шахт, опасных по рудничному газу (метану), а именно с газом подгруппы С:

АО «Интеграл»

Тип КВ369

ExdiaIICU

№ 744

ОС ВРЭ ВостНИИ № РОСС RU.Мг02.А00028

При маркировке искробезопасного и связанного электрооборудования (ГОСТ Р 51330.10) учитывается следующее. Серийный номер может наноситься отдельно от другой маркировки.

Для присоединенного оборудования символы Ex ia или Ex ib (либо ia или ib, если символ Ex уже нанесен) должны быть заключены в квадратные скобки.

Место маркировки всех относящихся к искробезопасности параметров, например U_m, L_i, C_i, L_0, C_0 и т. п., выбирают из практических соображений.

Должно быть ограничено или исключено использование курсива или подстрочных знаков, например U_0 вместо U_0; может быть использовано упрощенное написание символов.

Соединительные средства, например клеммные коробки, соединения посредством электрических разъемов искробезопасного и подключенного электрооборудования, должны быть четко промаркированы и легко идентифицироваться. Если для этой цели используют цвет, то таким цветом должен быть голубой. Если части электрооборудования или различные аппараты соединены между собой с помощью разъемов, последние должны быть идентифицированы как содержащие только искробезопасные цепи. Там, где для этой цепи используют цвет, он должен быть голубым.

АСВ – название или знак испытательной организации.

Искробезопасное электрооборудование (*ta – диапазон рабочих температур*, АСВ – название или знак испытательной организации):

АО «Модуль»

Тип КН25

Exia IIC T4

– 25 °C ≤ ta ≤ + 50 °C

АСВ № 98.2

Серийный номер 278

Лекция 39

План лекции

14.5. Обеспечение защиты от поражения электрическим током.
14.5.1. Требования к конструкции.
14.5.2. Требования к изоляции.
14.5.3. Обеспечение защитного заземления.

Литература: [28, 40].

14.5. Обеспечение защиты от поражения электрическим током

14.5.1. Требования к конструкции

Опасные для жизни части не должны быть доступными. *Опасными для жизни* называют условия с такими электрическими параметрами объекта, при которых может возникнуть опасный ток от прикосновения.

Доступной считается такая часть устройства, к которой может прикоснуться пользователь. При испытаниях аппаратуры доступность проверяется при помощи испытательного пальца, соответствующего МЭК 61032 (рис. 14.4).

Чтобы определить, является ли доступная часть опасной для жизни, проводят измерения между любыми двумя частями или контактами, затем между любой частью и любым полюсом источника питания, используемого во время испытания.

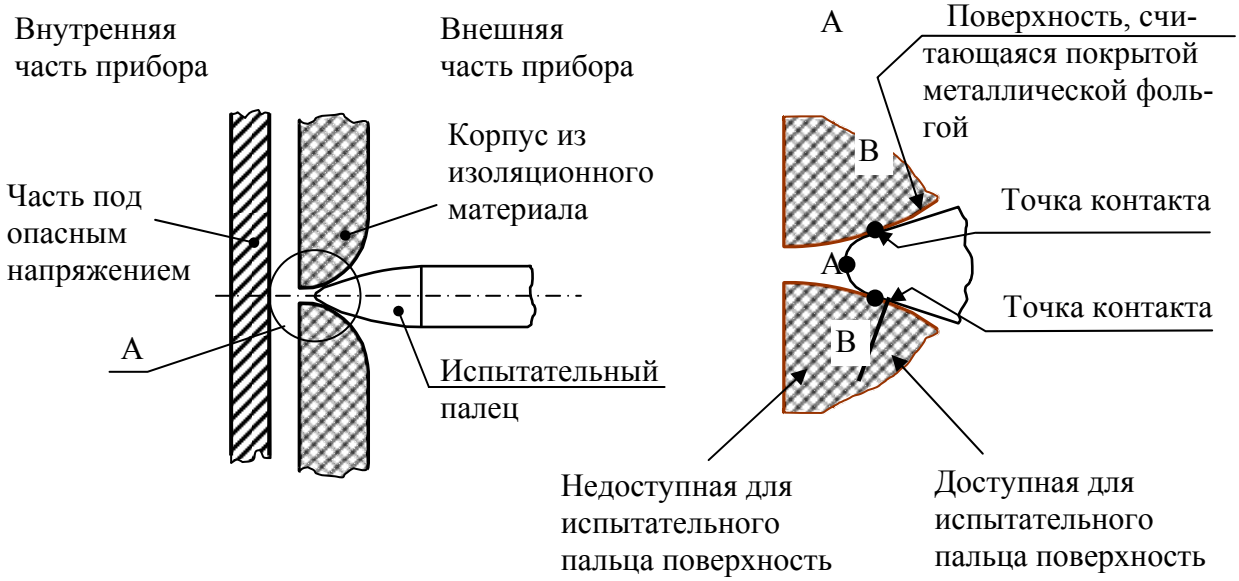


Рис. 14.4. Пример доступных частей. Точка А используется для определения доступности. Точка В используется для измерений воздушных зазоров и путей утечки

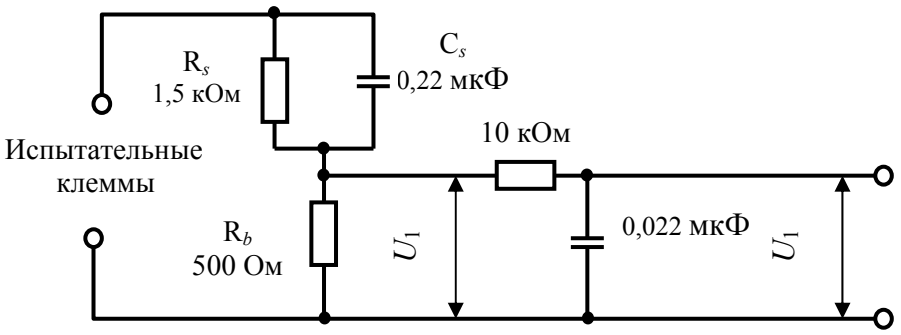


Рис. 14.5. Схема измерения тока прикосновения

Доступная часть не является опасной для жизни, если:

• напряжение разомкнутой цепи не превышает 35 В (пиковое значение) переменного тока или 60 В постоянного тока;

• ток от прикосновения, выраженный как напряжения U_1 и U_2 (рис. 14.5), не превышает следующих значений:

для переменного тока: U_1 = 35 В (пик.) и U_2 = 0,35 В (пик.);

для постоянного тока: U_1 = 1,0 В;

• разряд не превышает 45 мкКл при наличии остаточных напряжений от 60 В до 15 кВ;

• энергия разряда не превышает 350 мДж при наличии остаточных напряжений, превышающих 15 кВ.

Ток от прикосновения – ток, проходящий через тело человека при прикосновении к одной или более доступным частям аппаратуры при нормальных рабочих условиях или при неисправностях.

Приведенные выше требования для определения доступности опасных для жизни частей распространяются только на опасные для жизни напряжения, не превышающие 1000 В переменного или 1500 В постоянного тока.

Аппарат должен быть сконструирован и изготовлен так, чтобы операции, выполняемые *вручную*, такие как установка напряжения питания или изменение вида питания, замена плавких вставок и элементов подсветки индикаторов, манипулирование выдвижными частями и т. п., не несли в себе опасности поражения электрическим током.

Под термином «вручную» понимается действие, которое не требует использования какого-либо предмета: инструмента, монеты и т. п.

Конструкция ЭС должна исключать риск поражения электрическим током от *доступных* частей или от тех частей, которые становятся доступными после снятия крышек вручную. Это требование также относится к внутренним частям батарейных отсеков, которые становятся доступными после снятия крышки во время замены батарей.

Это требование не распространяется на батарейные отсеки, находящиеся внутри аппарата, замена батарей в которых *пользователем* не предусмотрена, например батареи для устройств памяти.

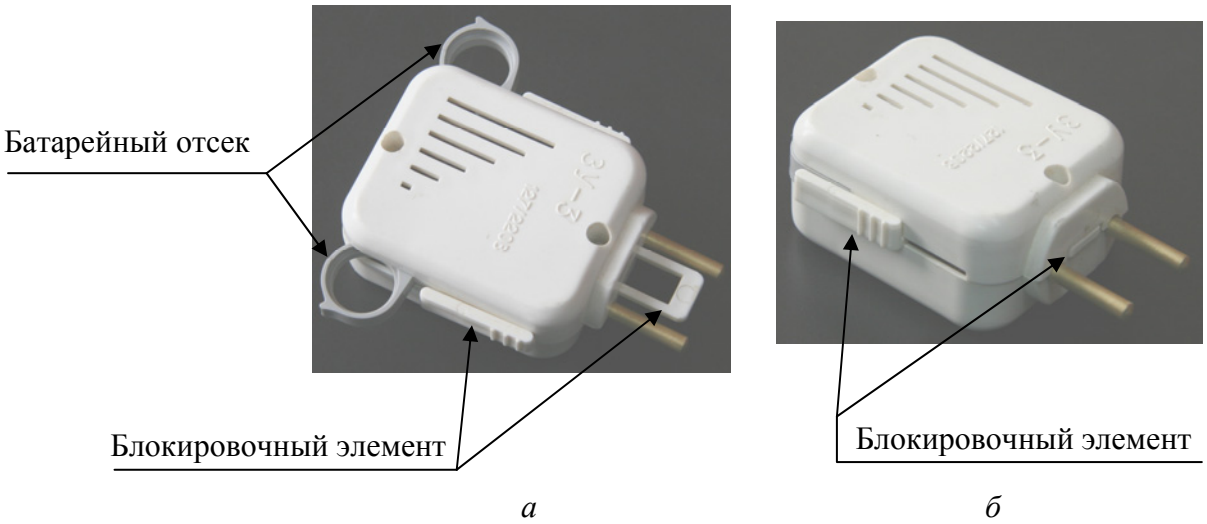


Рис. 14.6. Пример электробезопасной конструкции зарядного устройства

На рис. 14.6 представлено зарядное устройство, в котором предусмотрена конструктивная защита пользователя. Во-первых, установку аккумуляторов можно провести только при отключении их от токовых клемм (рис. 14.6, *а*). Во-вторых, подключение зарядного устройства к сети возможно только тогда, когда механический блокировочный элемент фиксирует батарейный отсек в закрытом положении (рис. 14.6, *б*).

Сеть – это источник электроэнергии номинальным напряжением более 35 В (амплитудное значение) переменного или постоянного тока. Сеть может быть использована не только для питания аппаратуры.

Если риск поражения электрическим током возможен при несанкционированном доступе пользователя во внутрь конструкции, то обязательно должны быть предусмотрены соответствующие указания в инструкции по эксплуатации или на изделии (см. рис. 14.3).

Прибор класса I должен иметь клемму защитного заземления или контакт, к которому должны быть надежно присоединены контакты защитного заземления выходных розеток и доступные проводящие части. Такое соединение не требуется для тех доступных проводящих частей, которые отделены от опасных для жизни частей двойной или усиленной изоляцией.

Аппарат, спроектированный для питания исключительно от источника питания, определенного изготовителем аппарата, должен быть сконструирован таким образом, чтобы *специальный* источник питания не мог быть заменен на источник питания *общего назначения* без его изменения.

Оси управляющих кнопок, ручек, рычагов и аналогичных устройств не должны быть опасными для жизни.

Отверстия корпуса (вентиляционные или другие отверстия) должны быть сконструированы и расположены таким образом, чтобы посторонние предметы при их попадании в них не могли стать опасными для жизни.

Если отверстие, через которое обеспечивается доступ к органам предварительной настройки, обозначено соответствующим образом на корпусе или в инструкции по эксплуатации, а для регулирования требуется отвертка или другой инструмент, то процесс регулирования не должен быть связан с риском поражения электрическим током.

Проводники внутренней проводки, соединяющие сетевые розетки, встроенные в аппарат, с сетевыми клеммами непосредственно или через сетевой выключатель, должны соответствовать требованиям к площади поперечного сечения, приведенным в табл. 14.5.

Номинальный ток потребления – ток потребления аппарата, работающего при номинальном напряжении питания в нормальных условиях эксплуатации.

Номинальное напряжение питания – напряжение питания или диапазон напряжений (в случае питания от трехфазной сети – напряжение между фазами), на которые аппарат рассчитан производителем.

Провода гибких шнуров, используемых для соединения одного аппарата с другим, работающим совместно с ним, должны иметь такую площадь поперечного сечения, чтобы повышение температуры изоляции как в нормальных условиях работы, так и при наличии неисправности было ничтожно мало.

Внутренние провода аппарата, повреждение изоляции которых может вызвать опасность, должны быть:

- закреплены таким образом, чтобы они не соприкасались с частями, имеющими температуру свыше допустимых значений превышения температуры для изоляции проводов в соответствии с табл. 14.1, когда усилие, равное 2 Н, прилагается к любой части проводов или их окружению;
- расположены так, чтобы не было риска повреждения их изоляции, например, острыми кромками, движущимися частями или воздействиями, которые могут привести к соприкосновениям с другими частями аппарата, когда усилие, равное 2 Н, прилагается к любой части проводов или их окружению.

Таблица 14.5

Номинальные значения площади поперечного сечения проводников

Номинальный ток потребления аппарата*, А	Номинальное значение площади поперечного сечения, мм^2
До 3 включ.	0,50**
Свыше 3 до 6 включ.	0,75
» 6 » 10 »	1,0
» 10 » 16 »	1,5

*Значения номинального тока потребления включают токи, которые могут проходить через розетки, подающие сетевое питание на другие аппараты.

**Это номинальное значение площади поперечного сечения допускается только для аппаратуры класса II и при условии, что длина шнура питания, измеренная между вводом шнура в аппарат и вилкой, не превышает 2 м.

Таблица 14.6

Масса и диаметр блока для испытаний натяжением

Общий диаметр гибкого шнура или кабеля, мм	Масса, кг	Диаметр блока, мм
До 6 включ.	1,0	60
Свыше 6 до 12 включ.	1,5	120
» 12 » 20 »	2,0	180

Гибкие сетевые шнуры должны иметь защитную оболочку из поливинилхлорида или синтетической резины и выдерживать перегибы и другие механические напряжения, имеющие место при нормальной эксплуатации.

Соответствие требованию на механическую прочность проверяют испытаниями по условиям, приведенным в табл. 14.6.

Наружные гибкие шнуры, содержащие один или более опасных для жизни проводников, необходимо присоединять к аппарату таким образом, чтобы места соединения проводов не подвергались натяжению, наружное покрытие – повреждению, а провод – перекручиванию.

Кроме того, конструкция должна быть такова, чтобы исключалась возможность проталкивания наружного шнура внутрь аппарата в месте его ввода, если это может повлиять на степень безопасности аппарата.

Способы, с помощью которых предотвращается натяжение и перекручивание проводов, должны быть очевидны. Не разрешается пользоваться такими приемами, как завязывание шнура на узел или перевязывание шнура веревкой. Устройства, с помощью которых предотвращается натяжение и перекручивание проводов, должны быть изготовлены из изоляционного материала (но не из натуральной резины) либо иметь стойкое покрытие из изоляционного материала.

В аппаратуре класса I размещение присоединительных клемм и длина выводов гибкого присоединительного сетевого шнура между приспособлением, препятствующим натяжению жил, и этими клеммами должны быть подобраны таким образом, чтобы в случае высвобождения шнура из этого приспособления и его обрыва последней оборвалась клемма защитного заземления.

Входное отверстие для наружных гибких шнуров должно быть сконструировано таким образом, чтобы при введении или перемещении шнура не происходило его повреждение. Это может быть достигнуто, например, путем закругления кромки входного отверстия или использования соответствующей втулки из изоляционного материала.

Передвижные аппараты, такие как музыкальные инструменты и работающие совместно с ними усилители, должны иметь устройства ввода наружного шнура для подключения к сети с помощью съемного шнура, или приспособление для его укладки, когда он не используется (например, в отсек) или закрепления на скобах или других приспособлениях.

Несъемные гибкие кабели и шнуры аппаратуры класса I должны быть оснащены зелено-желтой изолированной жилой, соединяющей клемму защитного заземления вилки при ее наличии.

14.5.2. Требования к изоляции

Для изоляции частей, находящихся под *опасным для жизни* напряжением, не должны применяться гигроскопические материалы. Проводящие части, покрытые только лаком, эмалью на основе растворителя, обычной бумагой, непропитанной тканью, оксидной пленкой или шайбами из диэлектрика, рассматриваются как неизолированные.

Безопасность аппарата не должна нарушаться при воздействии влажности, которая может появиться во время эксплуатации.

Изоляция между *доступными* частями или частями, подключенными к ним, и *опасными для жизни* частями должна выдерживать перенапряжение, обусловленное переходными процессами, например атмосферными разрядами, воздействующими на аппарат через соединитель антенны.

Соответствие требованию проверяют следующим испытанием. Изоляцию между *соединителем* для подключения антенны и *клеммами* для сетевого питания подвергают воздействию 50 разрядов с максимальной скоростью 12 разрядов в минуту от конденсатора емкостью 1 нФ, заряженного до напряжения 10 кВ.

Доступные проводящие части аппарата класса I, за исключением тех частей аппарата, которые имеют *двойную* или *усиленную* изоляцию (конструкция класса II), должны быть отделены от опасных для жизни частей *основной* изоляцией, соответствующей требованиям к изоляции и требованиям к зазорам и путям утечек.

Это требование не распространяется на изоляцию, короткое замыкание которой не вызывает какой-либо опасности поражения электрическим током.

Основная изоляция – изоляция опасных для жизни частей, обеспечивающая основную защиту от поражения электрическим током. Основная изоляция необязательно должна включать в себя изоляцию, используемую исключительно для функциональных целей.

Двойная изоляция – изоляция, включающая как основную, так и дополнительную изоляцию.

Дополнительная изоляция – независимая изоляция, дополняющая основную изоляцию и служащая для защиты от поражения электрическим током в случае пробоя основной изоляции.

Кожухи из дерева могут использоваться как дополнительная изоляция, если они выдержали испытание на электрическую прочность.

Усиленная изоляция – единая система изоляции опасных для жизни частей, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, эквивалентную двойной изоляции. Усиленная изоляция может включать несколько слоев, которые не могут быть испытаны отдельно как основная изоляция или как дополнительная изоляция.

Доступные части аппарата класса II должны быть отделены от опасных для жизни частей либо *двойной* изоляцией, либо *усиленной* изоляцией.

Основная изоляция является достаточной для использования между цепями с напряжениями свыше 35 до 71 В переменного тока или от 60 до 120 В постоянного тока и доступными частями или частями, соединенными с доступными проводящими частями.

Цепи с напряжениями, приведенными выше, должны быть отделены от опасных для жизни частей с более высокими напряжениями одним из следующих способов:

- двойной или усиленной изоляцией;
- изолирующим трансформатором;
- проводящей частью, соединенной с клеммой защитного заземления;
- разделительным трансформатором.

Изолирующий трансформатор – трансформатор, имеющий защитное разделение между входной и выходной обмотками.

Защитное разделение – разделение между цепями посредством основной и дополнительной защиты (основная изоляция плюс дополнительная изоляция или плюс защитное экранирование) или равноценное обеспечение защиты, например посредством усиленной изоляции.

Защитное экранирование – отделение от опасных для жизни частей посредством проводящих экранов, соединенных с клеммой защитного заземления.

Разделительный трансформатор – трансформатор, у которого входные обмотки отделены от выходных обмоток, по крайней мере, с помощью основной изоляции.

Клемма защитного заземления – клемма, с которой соединены части аппаратуры, которые должны быть заземлены в целях безопасности.

Изолирующие материалы должны удовлетворять требованиям по электрической прочности и сопротивлению изоляции.

Испытательное напряжение для проверки качества изоляции приведены в табл. 14.7. Основная, дополнительная и усиленная изоляции должны, каждая в отдельности, выдержать испытание на электрическую прочность, как определено на рис. 14.7.

Двойная или основная и дополнительная изоляции должны иметь толщину не менее 0,4 мм.

Усиленная изоляция может иметь минимальную толщину 0,4 мм в том случае, если она не подвергается никаким механическим воздействиям, которые могли бы привести к деформации или ухудшению изоляционного материала.

Таблица 14.7

Испытательные напряжения для проведения испытаний на электрическую прочность и сопротивление изоляции

Вид изоляции	Сопротивление изоляции, МОм	Испытательное напряжение переменного (пиковое значение) или постоянного тока, В
Между полюсами деталей, непосредственно соединенных с сетью	2	Для номинальных напряжений сети ≤ 150 $В_{эфф.}$ – 1410 В. Для номинальных напряжений сети > 150 $В_{эфф.}$ – 2120 В
Между частями, разделенными основной или дополнительной изоляцией	2	Кривая А на рис. 14.7
Между частями, разделенными усиленной изоляцией	4	Кривая В на рис. 14.7

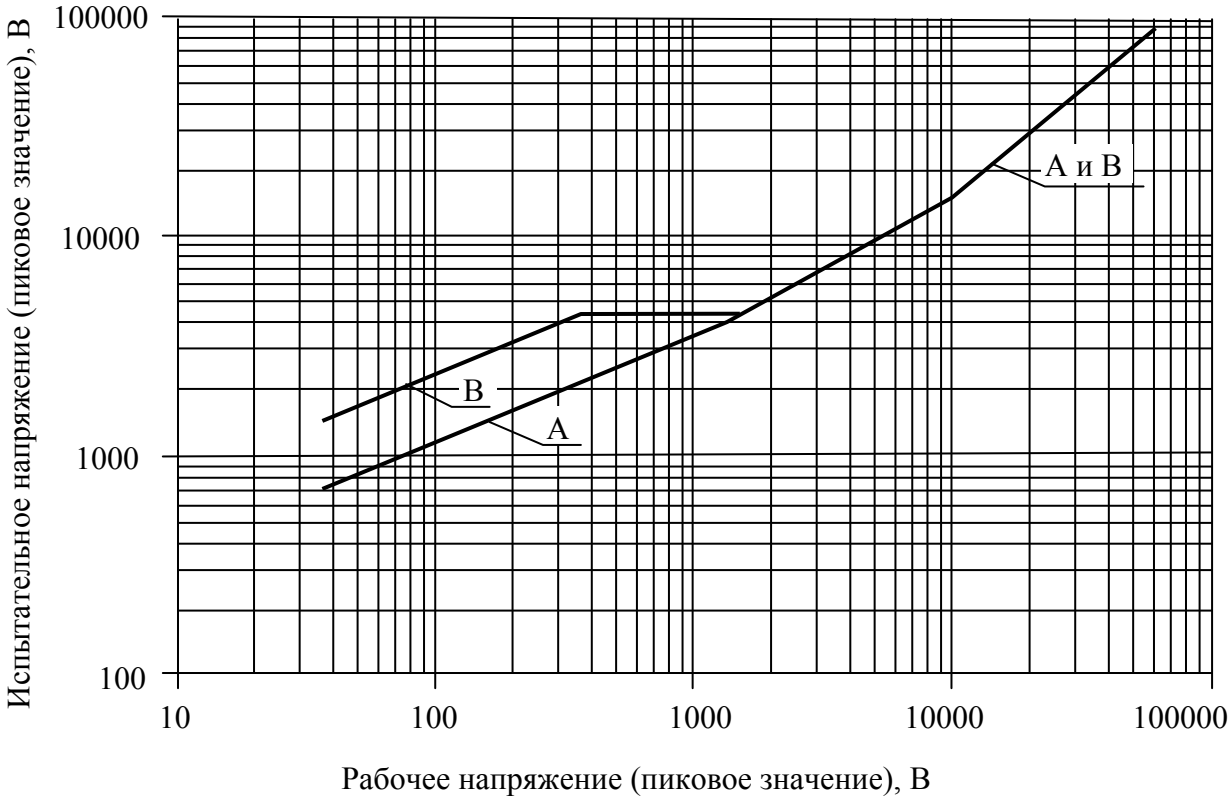


Рис. 14.7. Зависимость величины испытательного напряжения от рабочего

Требования по толщине не применяются к изоляции из тонких листовых материалов независимо от их толщины при следующих условиях:

- данная изоляция используется внутри корпуса аппарата;
- основная или дополнительная изоляция содержит, по крайней мере, два слоя материала, каждый из которых выдерживает испытание на электрическую прочность;
- основная или дополнительная изоляция содержит три слоя материа-

ла, все комбинации которого по два слоя вместе выдерживают испытание на электрическую прочность;

- усиленная изоляция содержит, по крайней мере, два слоя материала, каждый из которых выдерживает испытание на электрическую прочность;
- усиленная изоляция содержит три слоя изолирующего материала, все комбинации которого по два слоя выдерживают испытание на электрическую прочность.

Изоляция внутренней проводки между опасными для жизни проводящими жилами проводов или кабелей и доступными частями должна иметь толщину не менее 0,4 мм, если она изготовлена из поливинилхлорида. Другие материалы допускаются в том случае, если они выдерживают испытание на электрическую прочность и если их толщина обеспечивает механическую прочность для конкретной конструкции.

В аппарате класса II двойная изоляция должна быть обеспечена между:

доступными частями и проводящими жилами проводов или кабелей, соединенных с сетью;

проводящими жилами проводов или кабелей, соединенными с доступными проводящими частями и частями, соединенными с сетью.

Если двойная изоляция состоит из двух слоев, которые не могут быть испытаны отдельно, то изоляция должна выдерживать испытание на электрическую прочность для усиленной изоляции.

Части аппарата, которые имеют основную, двойную или усиленную изоляцию, могут быть шунтированы резистором, конденсатором или резистивно-емкостным блоком. Эти элементы должны размещаться внутри корпуса аппарата.

14.5.3. Обеспечение защитного заземления

Доступные проводящие части аппаратуры класса I, которые могут оказаться под опасным напряжением при нарушении основной изоляции, и контакты защитного заземления в розетках должны быть надежно соединены с клеммой защитного заземления аппарата.

В цепях защитного заземления не должно быть выключателей или плавких предохранителей.

У источников питания класса I, имеющих неопасные для жизни выходные напряжения, выходные цепи не должны соединяться с проводом защитного заземления.

Проводники защитного заземления могут быть оголенными или изолированными. Изолированные провода должны иметь зелено-желтую изоляцию, за исключением следующих двух случаев:

изоляция заземляющей оплетки должна быть либо зелено-желтой, либо прозрачной;

для внутренних защитных проводников в таких монтажных сборках, как резиновые кабели, шины, гибкая печатная проводка и т. п., может приме-

няться любой цвет при условии, что при их использовании не возникнет никакого неправильного толкования.

Провода зелено-желтой расцветки должны использоваться только для соединений защитного заземления.

Для постоянно подключенной аппаратуры или аппаратуры, снабженной несъемным гибким шнуром или кабелем, должна быть использована независимая клемма защитного заземления, которая должна быть расположена вблизи сетевых клемм и не должна служить для крепления других компонентов.

Если части, снимаемые вручную, имеют соединение с защитным заземлением, то при установке этих частей на место соединение с защитным заземлением должно происходить до включения токонесущих соединений и, наоборот, при снятии этих частей отсоединение защитного заземления должно происходить после отключения токонесущих соединений.

Проводящие части при контакте с проводниками защитного заземления не должны подвергаться существенной электрохимической коррозии.

Клеммы защитного заземления должны быть устойчивы к существенной коррозии.

Сопротивление соединения между контактами или клеммами защитного заземления и частями, которые должны быть подсоединены к защитному заземлению, не должно быть более 0,1 Ом.

Лекция 40

П л а н л е к ц и и

14.5.4. Зазоры и пути утечек.
14.5.5. Требования к клеммам и соединителям.
14.5.6. Требования к компонентам.
Л и т е р а т у р а: [28, 40].

14.5.4. Зазоры и пути утечек

Конструкция аппарата должна быть такой, чтобы в случае отсоединения любого провода не произошло уменьшения значений *зазоров* и *путей утечек* вследствие естественного перемещения отсоединившегося провода. Это требование не применяется, если отсутствует риск отсоединения провода.

Зазор – кратчайшее расстояние между двумя токопроводящими частями в воздухе.

Путь утечки – кратчайшее расстояние между двумя токопроводящими частями, измеренное по внешней поверхности изоляционного материала.

Зазоры и пути утечек должны иметь размеры в соответствии с рис. 14.8 и применяться с учетом следующих условий:

- указанные значения применяются к основной, дополнительной и усиленной изоляции;
- для основной, дополнительной и усиленной изоляции предполагается, что все детали цепи, непосредственно соединенной с сетью, находятся под напряжением не менее номинального напряжения сети по отношению к земле;
- для деталей, непосредственно соединенных с сетью напряжением от 220 до 250 В (эффективное значение), размеры выбирают под напряжением 354 В (пиковое значение);
- напряжение, приложенное к основной изоляции, определяют при закорачивании дополнительной изоляции и наоборот;
- кривые построены исходя из следующего:
  кривая А: 35 В соответствуют 0,6 мм; 354 В соответствуют 3,0 мм;
  кривая В: 35 В соответствуют 1,2 мм; 354 В соответствуют 6,0 мм;
- установленные воздушные зазоры и пути утечки являются минимально существующими разделениями с учетом точности в сборках и деталях.

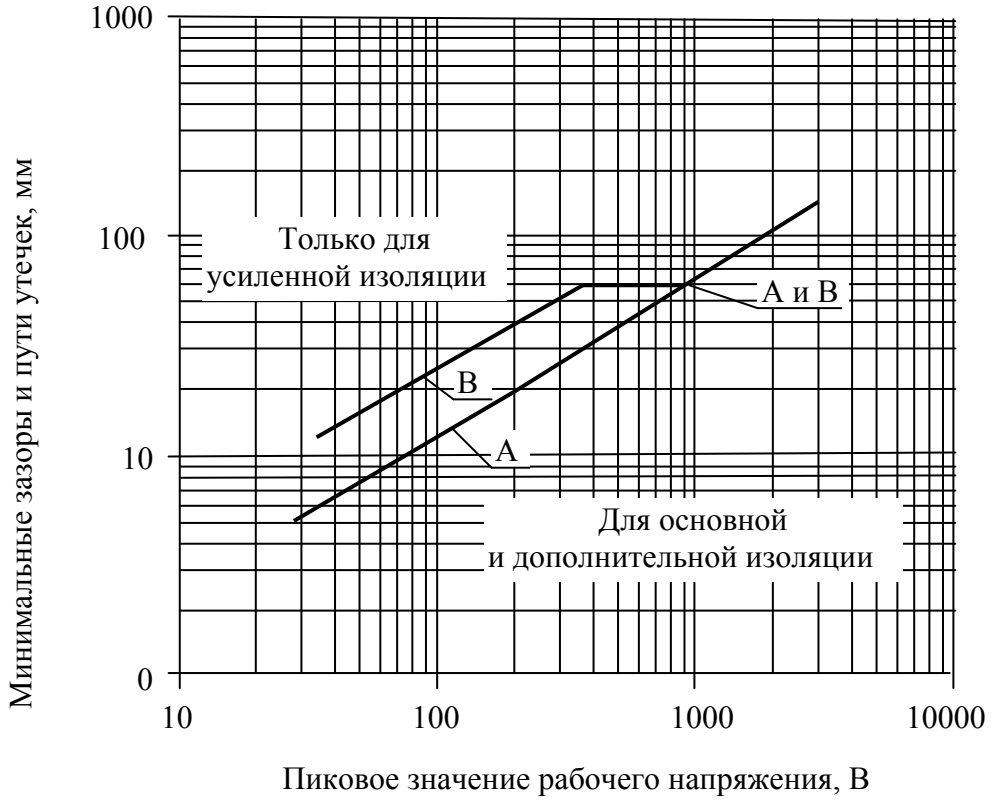


Рис. 14.8. Величины воздушных зазоров и путей утечек

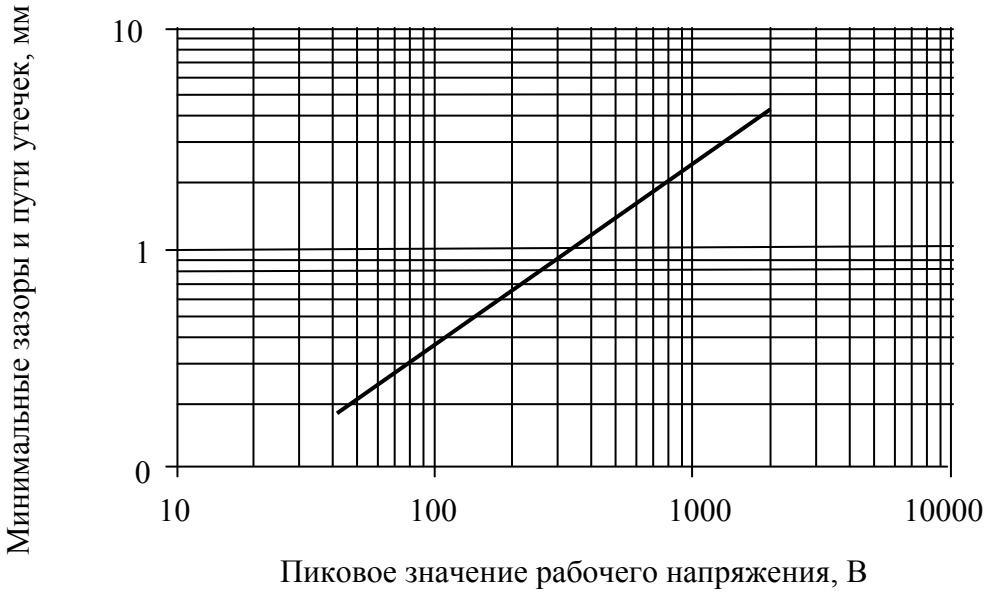


Рис. 14.9. Минимальные расстояния зазоров и путей утечек для печатных плат

Установленные зазоры не распространяются на воздушные промежутки между контактами устройств защиты, выключателей, имеющих конструкцию с маленьким коммутационным зазором, и аналогичных компонентов, где зазор изменяется при движении контактов.

Минимальные расстояния зазоров и путей утечек между проводниками (один из которых может быть соединен с сетью) на ПП даны на рис. 14.9, при этом они должны соответствовать требованиям, приведенным ниже:

- эти расстояния применяются только к самим проводникам, не применяются к установленным компонентам или соединениям пайкой;
- лаковые или аналогичные покрытия не учитывают при измерении этих расстояний;
- если зазор состоит из двух или более воздушных промежутков, последовательно разделенных проводящими частями, то при расчете его общего расстояния промежутки, имеющие ширину менее 0,2 мм, не учитывают;
- кривую рассчитывают по формуле

$$\lg d = 0{,}78 \lg (V/300),$$

где d – расстояние (при минимальном расстоянии зазора и пути утечки, равном 0,2 мм); V – пиковое значение рабочего напряжения, В.

Значения расстояний зазоров и путей утечек, вычисляемых по рис. 14.9, являются минимальными. Они могут быть уменьшены на 1 мм для основной и дополнительной изоляции и на 2 мм для усиленной изоляции при условии выполнения следующих трех требований:

- они не должны находиться между доступными проводящими частями корпуса и опасными для жизни частями;

- они должны поддерживаться посредством жесткой конструкции;
- должно быть маловероятным значительное снижение их изоляционных свойств от любого осаждения проводящей пыли, возникающего внутри аппарата, например от угольных щеток коллекторного электродвигателя.

При этом минимальные зазоры и пути утечек не должны быть ниже двух третей значений, определенных кривыми на рис. 14.8, а также не менее 0,5 мм для основной или дополнительной изоляции и не менее 1,0 мм для усиленной изоляции.

Таблица 14.8

Минимальные зазоры и пути утечек для конструкций, которые заключены в оболочку или герметично закрыты

Рабочее напряжение U переменного или постоянного тока (пиковое значение), В	Минимальные зазоры и пути утечек, мм	Рабочее напряжение U переменного или постоянного тока (пиковое значение), В	Минимальные зазоры и пути утечек, мм
$U \le 35$	0,2	$U \le 900$	2,3
$U \le 45$	0,2	$U \le 1120$	2,6
$U \le 56$	0,3	$U \le 1400$	3,2
$U \le 70$	0,3	$U \le 1800$	4,2
$U \le 90$	0,4	$U \le 2250$	5,6
$U \le 110$	0,4	$U \le 2800$	7,5
$U \le 140$	0,5	$U \le 3600$	10,0
$U \le 180$	0,7	$U \le 4500$	12,5
$U \le 225$	0,8	$U \le 5600$	16,0
$U \le 280$	1,0	$U \le 7000$	20,0
$U \le 160$	1,1	$U \le 9000$	25,0
$U \le 450$	1,3	$U \le 11200$	32,0
$U \le 560$	1,6	$U \le 14000$	40,0
$U \le 700$	1,9		

Для аппаратов, сборочных узлов или компонентов, которые не соединены с сетью, ограждены, заключены в оболочку или герметично закрыты для предотвращения попадания грязи и влаги, минимальные внутренние зазоры и пути утечек могут быть снижены до значений, приведенных в табл. 14.8. Примерами таких конструкций являются герметично запаянные металлические коробки, пластмассовые коробки, запечатанные клеящим веществом, и части, покрытые обволакивающим материалом.

14.5.5. Требования к клеммам и соединителям

Сетевые розетки, имеющиеся на аппарате класса II и служащие для подключения других аппаратов, должны обеспечивать возможность подключения только аппаратов класса II.

Сетевые розетки, имеющиеся на аппарате класса I, предназначенные для подключения других аппаратов, должны обеспечивать возможность подключения только аппаратов класса II или быть снабжены клеммой защитного заземления, надежно соединяемой с клеммой защитного заземления других аппаратов класса I.

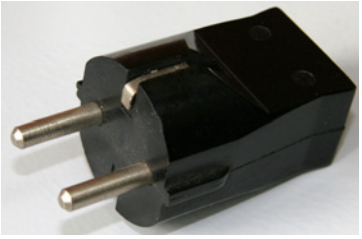
Для аппаратов, имеющих розетки, обеспечивающие подачу сетевого питания на другие аппараты, должны быть приняты меры, предотвращающие перегрузку их вилок или входных соединителей, обеспечивающих соединение аппарата с сетью, если номинальный ток вилок и устройств ввода менее 16 А.

Внешние провода розеток, обеспечивающих подачу сетевого питания на другие аппараты, должны иметь поперечное сечение, установленное в табл. 14.5 для внешних гибких шнуров.

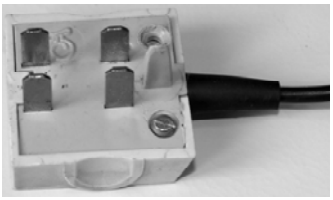
Соединители, которые не предназначены для подключения к сети питания, должны быть сконструированы так, чтобы их вилки имели такую форму, которая исключала бы возможность их подсоединения к розеткам сети питания.

Клеммы и соединители, используемые в выходных цепях источников питания, выходное напряжение которых не соответствует стандартным номинальным напряжениям сети, не должны быть совместимыми с контактными устройствами, которые установлены для бытовой и аналогичной аппаратуры.

Постоянно подключенная аппаратура должна иметь клеммы, соединение с которыми осуществляется с помощью винтов, гаек или аналогичных устройств, например безвинтовых клеммных устройств.



а



б

в

Рис. 14.10. Конструкции вилок, предназначенные для подключения к разным цепям:
а – к сети 220 В аппарата класса II; *б* – к телефонной сети;
в – для подключения вторичного электропитания к сотовому телефону

В аппаратуре с несъемными сетевыми шнурами питания присоединение отдельных проводников к внутренней проводке аппаратуры должно про-

изводиться с помощью средств, которые будут обеспечивать *надежное электрическое и механическое соединения*, за исключением проводников питания и защитного заземления несъемного сетевого шнура или кабеля, которые не должны паяться непосредственно к проводникам печатной платы.

Спаянные, скрученные и другие аналогичные соединения могут применяться для соединения внешних проводников. Паяные или скрученные соединения должны быть выполнены таким образом, чтобы зазоры и пути утечек не были меньше необходимых значений и чтобы не было возможности разрушения паяных соединений или соскальзывания скрученных соединений. Кроме того, проводники должны быть расположены и зафиксированы таким образом, чтобы была уверенность в том, что перемещение проводников не произойдет и будет поддерживаться их правильное положение.

Винты и гайки, закрепляющие провода внешней сети питания, должны иметь резьбу, соответствующую требованиям ИСО 261 или ИСО 262. С их помощью не должно осуществляться одновременное крепление других компонентов, за исключением внешних проводников, если они расположены таким образом, что вероятность их смещения при установке проводников сети питания незначительна.

Клеммы для внешних гибких шнуров должны позволять соединение с проводниками, имеющими номинальное поперечное сечение, указанное в табл. 14.9, и иметь минимальные размеры, указанные в табл. 14.10.

Клеммы шпилечного типа должны быть оснащены шайбами.

Клеммы должны быть сконструированы так, чтобы:

- они зажимали проводник между металлическими поверхностями с достаточным давлением контакта;
- они зажимали проводник без повреждения проводника;
- провод не мог выскользнуть при натяжении проводника.

Клеммы должны быть так зафиксированы, чтобы, когда зажим проводника усиливается или ослабевает:

сама клемма не теряла фиксации (рис. 14.11);

внутренние провода не подвергались натяжению;

зазоры и пути утечек не становились меньше установленных.

Таблица 14.9

Номинальные поперечные сечения проводников, подключаемых к клеммам

Номинальный ток потребления аппарата, А	Номинальное поперечное сечение, мм^2
До 3 включ.	От 0,5 до 0,75 включ.
Свыше 3 до 6 включ.	Свыше 0,75 до 1,0 включ.
» 6 » 10 »	» 1,0 » 1,5 »
» 10 » 16 »	» 1,5 » 2,5 »

Таблица 14.10

Минимальные номинальные размеры диаметра резьбы

Номинальный ток потребления аппаратуры, А	Минимальный номинальный диаметр резьбы, мм	
	Стойка или шпилька	Винт
До 10 включ.	3,0	3,5
Свыше 10 до 16 включ.	3,5	4,0

а

б

Рис. 14.11. Фиксация клеммы: *а* – внешний вид клеммы;
б – конфигурация стопорных шайб

Клеммы в цепях, пропускающих ток более 0,2 А в нормальных рабочих условиях, должны быть сконструированы так, чтобы давление контакта не передавалось на изоляционный материал, кроме керамики, если нет достаточной упругости металлических частей, способных скомпенсировать возможную усадку изоляционных материалов.

У несъемных сетевых шнуров питания каждая клемма должна устанавливаться вблизи клеммы другого соответствующего потенциала и клеммы защитного заземления при ее наличии.

Клеммы должны быть установлены, защищены или изолированы таким образом, чтобы не было риска случайного контакта между проводом, отделившимся от скрученного многожильного кабеля, и доступными проводящими частями или проводящими частями, соединенными с ними, а также проводящими частями, не соединенными с клеммой защитного заземления и отделенными от доступных проводящих частей только дополнительной изоляцией.

Проверку на выполнение этих требований проводят следующим образом. С конца многожильного провода, имеющего номинальную площадь поперечного сечения, снимают изоляцию на участке длиной 8 мм, после чего провод этим концом подсоединяют к клемме так, чтобы одна жила осталась свободной. Свободную жилу изгибают в любом возможном направлении без нарушения изоляции и закручивания конца жилы за имеющиеся препятствия.

Если проводник является опасным для жизни, то свободный провод не должен касаться никакой проводящей доступной части или части, соединенной с доступной проводящей частью, или (если прибор имеет двойную изоляцию) никакой проводящей части, которая отделена от доступных частей только двойной изоляцией.

Устройства, сконструированные в виде сетевой вилки (рис. 14.12), т. е. снабженные штырями, предназначенными для введения в розетку, не должны создавать в гнездах этой розетки чрезмерных механических напряжений.

Изгибающий момент не должен превышать 0,25 Н·м. Сила натяжения, действующая на штыри, не должна превышать значений, указанных в табл. 14.11.

При отсутствии соединений с другой аппаратурой недоступные контакты клемм не должны быть опасными для жизни, за исключением:

- контактов выходных сигнальных клемм, если они являются опасными для жизни по причине функциональных особенностей аппарата при условии, что эти контакты отделены от источников питания. Допускается, чтобы недоступные входные клеммы, например у громкоговорителей, были опасными для жизни, если они присоединены к данным выходным клеммам;
- соединителей, предназначенных для подключения аппарата к сети, выходных розеток и контактов соединяющих устройств для обеспечения питанием других аппаратов.

а

б

Рис. 14.12. Блоки питания, выполненные в виде сетевой вилки:
а – для настольной люминесцентной лампы; *б* – для сотового телефона

Таблица 14.11

Сила натяжения, действующая на штыри

Классификация вилок по соответствующим типам	Количество полюсов	Сила натяжения, Н
До 10 А включ.	2	40
130/250 В	3	50
От 10 до 16 А включ.	2	50
130/250 В	3	54
От 10 до 16 А включ.	3	54
440 В	Более 3	70

Применение однополюсной вилки или неизолированного провода для соединения с контактом клеммы, используемой для подключения заземления

или антенны, а также сигналов звука, изображения или взаимодействия не должно создавать опасности поражения электрическим током.

Аппарат, предназначенный для подключения к сети с помощью сетевой вилки, должен быть сконструирован таким образом, чтобы не было опасности поражения электрическим током от заряда, накопленного на конденсаторах, в случае прикосновения к штырям или контактам вилки после ее отсоединения от розетки.

14.5.6. Требования к компонентам

Резисторы, короткое замыкание или обрыв которых вызывает нарушение требований безопасности при работе в условиях неисправностей, а также резисторы, шунтирующие промежутки между контактами сетевых выключателей, должны иметь достаточно стабильное значение сопротивления в режиме перегрузки.

Такие резисторы должны размещаться внутри корпуса аппарата.

Плавкие вставки и держатели плавких предохранителей. Плавкие вставки, непосредственно соединяемые с сетью, применяются с целью обеспечения безопасности аппарата.

Держатели плавких предохранителей должны быть сконструированы так, чтобы параллельное включение нескольких плавких вставок в одну и ту же цепь было невозможным.

Если опасные для жизни части аппарата окажутся доступными при замене плавких предохранителей или прерывающих устройств, то необходимо предотвратить возможность доступа к этим частям вручную.

Если носители плавких вставок можно снять вручную с внешней стороны аппарата, держатели миниатюрных цилиндрических плавких вставок винтового или байонетного типа должны быть сконструированы таким образом, чтобы опасные для жизни части не становились доступными ни во время установки или снятия плавкой вставки, ни после снятия плавкой вставки.

Такие устройства защиты, как, например, плавкие резисторы, плавкие вставки или миниатюрные прерыватели, должны иметь необходимую размыкающую способность.

Выключатели. Постоянно подключенная аппаратура должна быть оснащена всеполюсным сетевым выключателем. Он должен иметь контактные разъединения не менее 3 мм в каждом полюсе.

Всеполюсный сетевой выключатель – механический выключатель, управляемый вручную и разъединяющий все полюса сети электропитания, за исключением провода защитного заземления.

В аппаратуре, которая при нормальных рабочих условиях потребляет более 15 Вт и/или имеет импульсное напряжение, превышающее 4 кВ, должен быть установлен механический выключатель, управляемый вручную.

Механический выключатель, управляемый вручную, – управляемое вручную устройство, не содержащее полупроводниковых приборов, расположенное в любой цепи аппарата, которая может прерывать предполагаемые функции, такие как звук и/или изображение, посредством перемещения контактов. Примерами механических выключателей, управляемых вручную, являются однополюсные или всеполюсные сетевые выключатели, функциональные выключатели и выключающие системы, которые, например, могут быть комбинацией реле и выключателей, управляющих действиями реле.

Выключатель должен быть подсоединен так, чтобы при положении «выключено» было обеспечено потребление мощности менее 15 Вт и/или импульсное напряжение не превышало 4 кВ при эксплуатации в нормальных рабочих условиях и в условиях неисправности.

Выключатель должен быть размещен так, чтобы был легкодоступным для пользователя. Не допускается установка выключателя на гибком сетевом кабеле или шнуре.

Независимо от мощности потребления не требуется установка выключателей в аппаратуре или части аппаратуры, которая функционирует самостоятельно и у которой в нормальных условиях эксплуатации пиковое значение напряжения не превышает 4 кВ, при условии, что она включается автоматически без вмешательства человека (например, радиочасы, видеомагнитофоны, аппаратура, управляемая по линии связи) и предназначена для непрерывной работы (например, антенные усилители, радиочастотные преобразователи и модуляторы, устройства, образующие часть сетевой вилки).

На аппарате, для которого требуется механический выключатель, управляемый вручную, положение выключателя «включено» должно быть указано. Указание положения «включено» может выполняться световой или звуковой индикацией или другими подходящими способами.

Если маркировка, сигнальные лампы или аналогичные средства могут давать восприятие, что аппаратура полностью отключена от сети, в инструкцию должна быть включена полная и ясная информация о состоянии аппаратуры. При применении символов их значение также должно быть объяснено.

Аппаратура, которую можно переводить в рабочее состояние из дежурного режима и где требуется механический выключатель, управляемый вручную, должна быть оснащена индикацией, указывающей, что аппаратура находится в состоянии дежурного режима. Индикация состояния дежурного режима может выполняться световой или звуковой индикацией или другими подходящими способами.

Индикация не требуется, если ток потребления аппаратуры в состоянии дежурного режима не превышает 0,7 мА (пиковое значение) переменного или постоянного тока.

Если напряжение на разомкнутых контактах превышает 35 В (пиковое значение) переменного тока или 24 В постоянного тока, управляемый вручную механический выключатель, управляющий током более 0,2 А среднеквадратического значения переменного или постоянного тока, должен удовлетворять одному из следующих требований:

- выключатель должен быть пригоден для использования в условиях нормального загрязнения;
- по теплостойкости и огнестойкости выключатель должен относиться к 3-му уровню (МЭК 61058-1);
- скорость включения и разрыва контактов сетевых выключателей не должна зависеть от скорости воздействия;
- должен быть способен выполнять функции выключения в нормальных рабочих условиях;
- должен иметь соответствующую электрическую прочность.

Выключатель должен быть сконструирован таким образом, чтобы во время его предполагаемого использования не было чрезмерного повышения температуры. Применяемые материалы должны быть такими, чтобы характеристики выключателя не оказывали неблагоприятного действия на работу аппаратуры во время его предполагаемого использования. В частности, материал и конструкция контактов и выводов должны быть такими, чтобы работа и манипуляции выключателя не приводили к их окислению и другим видам износа.

Защитные блокировки. Установка защитных блокировок должна предусматриваться там, где возможен доступ вручную к зонам, представляющим опасность.

Устройства установки напряжения и аналогичные устройства. Аппаратура должна быть сконструирована таким образом, чтобы изменение установки одного напряжения на другое или одного типа питания на другой не могло произойти случайно.

Электродвигатели должны быть сконструированы так, чтобы исключить при их длительной нормальной эксплуатации вероятность каких-либо электрических и механических неисправностей. Изоляция не должна повреждаться, а контакты и соединения при нагреве, вибрации и т. п. не должны нарушаться.

Трансформаторы. Первичная и вторичная обмотки должны быть электрически разделены друг от друга, а конструкция обмоток должна быть такой, чтобы не было возможности никаких соединений между этими обмотками непосредственно или через проводящие части.

В частности, должны быть приняты меры, чтобы предотвратить:

- недопустимое смещение первичной или вторичной обмоток или их витков;
- недопустимое смещение внутренних проводов или проводов внешних соединений;
- недопустимое смещение частей обмотки или внутренних проводов в результате обрыва проводов или нарушения соединений;
- шунтирование любой части изоляции между первичной и вторичной обмотками, а также соединений обмоток, которое может произойти при утере

или ослаблении проводников, болтов, шайб и других подобных деталей.

Последний виток каждой обмотки должен быть закреплен соответствующим образом, например с помощью ленты, подходящим клеящим веществом, либо технологический процесс должен предусматривать способ крепления.

В случае использования катушек без щечек конечные обороты каждого слоя должны быть закреплены соответствующим образом. Каждый слой может, например, чередоваться с соответствующим изоляционным материалом, защищающим конечные обороты каждого слоя. Кроме того:

- обмотки должны быть пропитаны спекаемым материалом или материалом, отвердевающим при низкой температуре, значительно заполняющим пространство между слоями и надежно закрепляющим концы обмоток:
- обмотки должны удерживаться вместе изоляционным материалом;
- обмотки должны быть закреплены, например, технологическим процессом.

Лекция 41

П л а н л е к ц и и

14.6. Обеспечение механической прочности, теплостойкости и огнестойкости.
14.6.1. Обеспечение механической прочности.
14.6.2. Обеспечение требований по теплостойкости.
14.6.3. Обеспечение требований по огнестойкости.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [13, 40].

14.6. Обеспечение механической прочности, теплостойкости и огнестой-кости.

14.6.1. Обеспечение механической прочности

Аппарат должен обладать достаточной механической прочностью и быть сконструирован так, чтобы выдержать воздействия, возможные в течение его эксплуатации.

Корпус аппарата должен обладать достаточным противодействием к приложению внешних сил. Соответствие этому требованию проверяют следующими испытаниями.

1. Жесткий испытательный палец в течение 10 с прикладывают к различным точкам корпуса, включая отверстия и текстильную обивку, с усилием, направленным внутрь и равным (50 ±5) Н. Во время испытания корпус не должен становиться опасным для жизни, а опасные для жизни части не должны оказаться доступными; текстильные обивки не должны касаться опасных для жизни частей.

2. С помощью испытательного крюка прикладывают направленное наружу усилие (20 ±2) Н во всех точках, где это возможно, в течение 10 с. Во время испытания опасные для жизни части не должны оказаться доступными.

3. Внешние проводящие кожухи и проводящие части внешней части корпуса должны подвергаться в течение 5 с постоянному усилию, равному (250 ±10) Н для напольной аппаратуры или (100 ±10) Н для другой аппаратуры, приложенному к корпусу или части корпуса, прикрепленной к аппарату с помощью соответствующего испытательного инструмента, обеспечивающего поверхностное прикосновение в виде окружности диаметром 30 мм.

Конструкция аппарата должна исключать возможность короткого замыкания изоляции между опасными для жизни частями и доступными частями или частями, соединившимися с ними, например, в результате случайного ослабления или потери винтов.

Для проверки соответствия требованиям на механическую прочность проводят испытание вибрацией, испытание падением и испытание ударом. Например, передвижные аппараты, предназначенные для усиления звука музыкальных инструментов, портативные аппараты, а также аппараты, имеющие металлический корпус, подвергают испытаниям на виброустойчивость.

Аппарат с помощью ремней, опоясывающих корпус, закрепляют на вибростенде в положении, предназначенном для эксплуатации. Направление вибрации вертикальное. Условия испытания следующие:

- продолжительность – 30 мин;
- амплитуда – 0,35 мм;
- диапазон частот – от 10 до 55 Гц и от 55 до 10 Гц;
- скорость изменения частоты – приблизительно одна октава в минуту.

После окончания испытаний аппарат не должен иметь повреждений, в особенности не должны нарушаться соединения или ослабляться крепления деталей, приводящие к снижению безопасности.

Проверку соединения крепежными винтами осуществляют следующим образом. Их отвинчивают, потом завинчивают с приложением крутящего момента, равного $^{2}/_{3}$ значения, указанного в табл. 14.12, затем ослабляют на $^{1}/_{4}$ оборота. После этого к органам управления в течение 1 мин прикладывают вращающий момент по касательной к окружности, соответствующий усилию 100 Н, но не более 1 Н·м, а также в течение 1 мин осевую растягивающую силу, равную 100 Н. Если масса аппарата менее 10 кг, то значение растягивающего усилия не должно превышать массы аппарата, но должно быть не менее 25 Н.

Таблица 14.12

Вращающий момент, прикладываемый к винтам

Номинальный диаметр винта, мм	Вращающий момент, Н·м		
	I	II	III
До 2,8 включ.	0,20	0,4	0,40
Свыше 2,8 до 3,0 включ.	0,25	0,5	0,50
» 3,0 » 3,2 »	0,30	0,6	0,60
» 3,2 » 3,6 »	0,40	0,8	0,60
» 3,6 » 4,1 »	0,70	1,2	0,60
» 4,1 » 4,7 »	0,80	1,8	0,90
» 4,7 » 5,3 »	0,80	2,0	1,00
» 5,3 » 6,0 »	–	2,5	1,25

Для органов управления, таких как нажимные кнопки, клавиши и т. п., которые во время эксплуатации могут подвергаться только воздействию силы давления и не выступают за пределы поверхности аппарата более чем на 15 мм, растягивающее усилие ограничивают значением менее 50 Н.

Устройство дистанционного управления, предназначенное для удержания его в руке и содержащее опасные для жизни части, должно обладать достаточной механической прочностью и быть сконструировано таким образом, чтобы выдержать воздействия, возможные в течение его эксплуатации.

Дистанционное управление – управление аппаратом на расстоянии, например, механическим, электрическим, акустическим способами или с помощью излучения.

Выдвижные устройства, которые предназначены для выдвижения из аппарата только на часть своей длины, должны иметь стопор такой механической прочности, чтобы опасные для жизни части не стали доступными.

Соответствие этому требованию проверяют следующим испытанием. Данное устройство выдвигают до тех пор, пока стопор не ограничит его дальнейшее выдвижение; затем в течение 10 с к нему прикладывают усилие 50 Н в наиболее неблагоприятном направлении. После испытания аппарат не должен иметь повреждений, в особенности ни одна опасная для жизни часть не должна стать доступной.

Коаксиальные антенные гнезда, устанавливаемые на аппарате, содержащем части или компоненты, которые обеспечивают изоляцию между опасными для жизни частями и доступными частями, должны быть сконструированы таким образом, чтобы выдержать воздействия, возможные в течение эксплуатации.

Соответствие требованию проверяют с помощью испытаний на износоустойчивость, ударом и вращающим моментом. Например, при испытании на износоустойчивость испытательный штекер вставляют и извлекают из антенного гнезда 100 раз.

Винтовые клеммы, обеспечивающие электрический контакт, и фиксирующие винты, которые при эксплуатации аппарата многократно отвинчивают и завинчивают, должны обладать механической прочностью.

К винтовым креплениям, которые в течение срока эксплуатации аппарата ослабляют или завинчивают несколько раз, относятся винтовые клеммы, винты для закрепления крышек (поскольку они должны ослабляться при открывании аппарата), винты для крепления ручек, кнопок и т. п.

Если при эксплуатации аппарата предусмотрена необходимость многократного ослабления и затяжения какого-либо винта, а надежность этого соединения обеспечивает выполнение требований безопасности по настоящему стандарту, необходимо применять дополнительные меры с целью безошибочного введения болта или винта в резьбу, нарезанную в неметаллическом материале.

Винты и другие крепежные элементы, предназначенные для задних и нижних крышек и т. п., не должны выпадать после отвинчивания, чтобы их нельзя было заменить при ремонте на винты и крепежные элементы других типов, применение которых может привести к уменьшению путей утечек и зазоров между доступными проводящими частями и опасными для жизни.

Токопроводящие детали, которые постоянно соединены между собой и через которые протекает ток более 0,2 А, должны быть скреплены таким образом, чтобы исключалась возможность ослабления соединения. При этом заливка компаундом обеспечивает достаточное законтривание только тех винтовых соединений, которые не подвергаются действию крутящего момента. Если крепление состоит более чем из одного винта или заклепки, то только одно из этих средств должно быть законтрено.

Электрические соединения в цепях током более 0,2 А при нормальных условиях должны быть такими, чтобы контактное давление не передавалось через изоляционный материал (это не относится к керамике), за исключением тех случаев, когда металлические детали не обладают достаточной эластичностью, которая может компенсировать любую возможную усадочную деформацию изоляционного материала.

Многожильные провода гибких шнуров питания, присоединяемые к винтовым клеммам, не должны скрепляться оловянно-свинцовым припоем, если они подвергаются контактному давлению, за исключением случаев, когда конструкция крепления не допускает возможности плохого контакта, обусловленного холодной пайкой.

Устройства для крепления крышек, которыми могут неоднократно пользоваться во время эксплуатации аппарата, должны обладать достаточной механической прочностью, если при их неисправности может быть нарушена безопасность аппарата.

Открытые и закрытые положения устройства не должны иметь неопределенности, и не должно возникать случайное открывание аппарата.

Съемные ножки или подставки, поставляемые изготовителем аппарата, должны быть снабжены комплектом крепежных элементов, за исключением случаев, когда их поставляют в сборе с аппаратом.

Аппарат, предназначенный для установки на полу и имеющий массу более 18 кг, должен обладать достаточной механической устойчивостью. Кроме того, устойчивость должна обеспечиваться при установке аппарата на ножки или подставку, поставляемые изготовителем.

Выход из положения равновесия проводят следующими испытаниями.

1. Аппарат помещают в обычное рабочее положение на плоскости, имеющей наклон под углом 10° к горизонтальной поверхности, и медленно вращают вокруг своей вертикальной оси на 360°.

2. Аппарат помещают на нескользкую поверхность, наклоненную под углом не более 1° относительно горизонтали. При этом крышки, створки, ящики и дверцы должны находиться в наиболее неблагоприятном положении.

3. В любой точке горизонтальной поверхности, выступа или углубления прикладывают усилие 100 Н, направленное вертикально вниз таким образом, чтобы получить максимальный опрокидывающий момент при условии, что расстояние от этой точки до поверхности пола не превышает 75 см.

Острые кромки или углы, кроме тех, которые необходимы для нормального функционирования аппарата, должны быть сглажены (без резких разрывов), в противном случае они могут представлять опасность для пользователя при размещении или применении аппарата.

Стекла, за исключением кинескопов, с площадью поверхности, превышающей 0,1 м^2, или с наибольшим размером, превышающим 450 мм, не должны разбиваться так, чтобы это могло привести к травме кожи человека.

Движущие части, которые могут нанести травму, должны быть закрыты таким образом, чтобы при нормальных условиях работы была обеспечена надежная защита. Защитные кожухи, ограждения и т. п. должны обладать механической прочностью и не должны сниматься вручную.

Часть, которая становится доступной после удаления крышки вручную, не должна быть опасной для жизни. Это требование распространяется также на внутренние части батарейных отсеков, которые становятся доступными после снятия крышки вручную или с помощью инструмента, монеты или других предметов во время замены батарей. Любую часть устройства для установки напряжения, снимаемую вручную, считают защитной крышкой.

Окошки, линзы, колпаки сигнальных ламп и т. д. должны быть надежно закреплены, если при их отсутствии опасные для жизни части становятся доступными. Закрепление посредством только трения не считается надежным. Соответствие требованию проверяют обследованием и в сомнительных случаях приложением силы 20 Н в течение 10 с в наиболее неблагоприятном месте и в самом неблагоприятном направлении.

Крышки, которые могут подвергаться воздействию сил в течение предполагаемой эксплуатации, например крышки, закрывающие клеммы, должны

быть надежно закреплены, если при их отсутствии опасные для жизни части становятся доступными. Закрепление посредством только трения не считается надежным.

14.6.2. Обеспечение требований по теплостойкости

В течение предполагаемой эксплуатации аппарата ни одна из его частей не должна нагреваться до чрезмерной температуры (табл. 14.13).

Таблица 14.13

Допустимое превышение температуры частей аппарата

Условия нормальной работы, К	Условия неисправностей, К
30	65
50	65
40	65
60	65
60	100
100	130
145	190
200	300

Изолирующий материал, поддерживающий детали, соединенные с сетью, должен быть устойчив к нагреву, если в течение предполагаемой эксплуатации аппарата через эти детали протекает ток свыше 0,2 А и они могут вырабатывать значительное количество тепла вследствие плохого контакта.

Температура размягчения изолирующего материала не должна быть менее 150 °С.

Примерами частей, которые могут вырабатывать значительное количество тепла в течение предполагаемой эксплуатации, могут быть контакты выключателей и устройств установки напряжения, клеммы с винтовыми зажимами и держатели плавких предохранителей.

14.6.3. Обеспечение требований по огнестойкости

Аппаратура должна быть спроектирована таким образом, чтобы, насколько это возможно, предотвращалось воспламенение и распространение огня и не возникало опасности выхода огня за пределы аппарата. Это достигается:

- использованием хорошей инженерной практики в проектировании и производстве аппаратуры, дающей возможность избежать потенциальных источников воспламенения;
- использованием огнестойких материалов вблизи потенциальных источников воспламенения;

• использованием противопожарных кожухов, ограничивающих распространение огня.

Когда аппарат работает в условиях неисправностей, то ни одна из его частей не должна нагреваться до такой температуры, чтобы:

появилась опасность возникновения пожара вблизи аппарата;

снижалась его безопасность из-за чрезмерного количества тепла, выделяемого аппаратом.

Кроме того, соединения пайкой не должны использоваться в качестве защитного механизма, за исключением паек, которые предназначены для того, чтобы расплавляться, например таких как термопредохранители.

Если блокировочные конденсаторы или резистивно-емкостные блоки защищены перегородкой, соответствующей требованиям по огнестойкости категории FV 0 по МЭК 60707, или перегородкой, выполненной из металла, то к ним требования по огнестойкости не предъявляются. Перегородка должна иметь размеры, покрывающие, по крайней мере, области, определенные в табл. 14.14.

Батареи должны быть размещены таким образом, чтобы исключить опасность накопления огнеопасных газов и чтобы утечка электролита не могла повредить изоляцию.

Таблица 14.14

Категории огнестойкости для конденсаторов и резистивно-емкостных блоков

Напряжение разомкнутой цепи потенциального источника воспламенения	Расстояние вниз или в сторону от потенциальных источников воспламенения до конденсатора или резистивно-емкостного блока, мм, не менее	Расстояние вверх от потенциальных источников воспламенения до конденсатора или резистивно-емкостного блока, мм, не менее	Категория огнестойкости по МЭК 60384-1
От 50 до 4000 В включительно (пиковое значение) переменного или постоянного тока	13	50	B
Свыше 4 кВ (пиковое значение) переменного или постоянного тока	D*	D**	B
* Если D равно 13 мм либо напряжению разомкнутой цепи потенциального источника воспламенения в киловольтах, то принимают наибольшее значение. ** Если D равно 50 мм либо напряжению разомкнутой цепи потенциального источника воспламенения в киловольтах, то принимают наибольшее значение.			

При наличии возможности для пользователя заменить перезаряжаемые батареи (которые могут быть заряжены в аппаратуре) на незаряжаемые в аппаратуре должны быть предусмотрены специальные средства, исключающие попадание любого тока заряда на незаряжаемую батарею.

Следующие части могут являться незначительной добавкой горючего материала при воспламенении:

- мелкие механические части, масса которых не превышает 4 г, такие как опорные части, приводы, шестерни, кулачки, приводные ремни, подшипники;
- мелкие электрические компоненты, такие как конденсаторы объемом, не превышающим 1750 мм^3, интегральные схемы, транзисторы и корпуса оптопар, если эти компоненты установлены на материал, имеющий категорию огнестойкости FV1 или лучше, соответствующий требованиям МЭК 60707.

Изоляция проводов не должна способствовать распространению огня в следующих условиях:

- проводка, работающая под напряжением, превышающим 4 кВ (пиковое значение) переменного тока или постоянного тока;
- проводка, выходящая из внутреннего противопожарного кожуха, за исключением изоляции, состоящей из определенных типов полихлорвинила, тетрафторэтилена, фторированного этиленпропилена или неопрена (ПВХ, ТФЭ, ФЭП).

Материал основания печатных плат, действительная мощность которых превышает 15 Вт и которые работают в нормальных рабочих условиях с напряжением, превышающим 50 В и равным или менее 400 В (пиковое значение) переменного или постоянного тока, должен иметь огнестойкость категории FV1 или лучше по МЭК 60707, за исключением печатных плат, помещенных в кожух, удовлетворяющий требованиям по огнестойкости категории FV0 по МЭК 60707 или изготовленный из металла и имеющий отверстия только для соединяющих проводов, которые целиком заполняют эти отверстия.

Материал основания печатных плат, действительная мощность которых превышает 15 Вт и которые работают в нормальных рабочих условиях с напряжением, превышающим 400 В (пиковое значение) переменного или постоянного тока, и материал основания ПП, несущих искровые разрядники, обеспечивающие защиту от перенапряжений, должен иметь огнестойкость категории FV0 по МЭК 60707, за исключением ПП, помещенных в металлический кожух, имеющий отверстия только для соединяющих проводов, которые целиком заполняют эти отверстия.

В случае если расстояния между потенциальными источниками воспламенения и компонентами или частями не превышают значений, установленных в табл. 14.15, эти компоненты и части должны удовлетворять соответствующей категории огнестойкости по МЭК 60707, за исключением случаев, когда установлена защищающая от потенциального источника воспламенения перегородка, изготовленная из металла или удовлетворяющая требованиям по огнестойкости категории FV0 по МЭК 60707.

Перегородка должна быть отделена от потенциального источника воспламенения не менее чем на 5 мм. При наличии в перегородке отверстий

должна отсутствовать возможность проникновения через перегородку узкого пламени.

Печатные платы, несущие потенциальные источники воспламенения, не рассматриваются как защищающие перегородки, удовлетворяющие требованиям по огнестойкости категории FV0 по МЭК 60707.

На потенциальные источники воспламенения, имеющиеся внутри электрических компонентов, настоящие требования не распространяются.

Потенциальные источники воспламенения с напряжением разомкнутой цепи, превышающим 4 кВ (пиковое значение) переменного или постоянного тока в нормальных рабочих условиях, должны быть помещены в противопожарный кожух, который должен соответствовать требованиям по огнестойкости категории FV1.

Дерево и материалы на древесной основе толщиной не менее 6 мм рассматриваются как соответствующие требованиям по огнестойкости категории FV1.

Таблица 14.15

Категории огнестойкости для компонентов и частей

Напряжение разомкнутых цепей потенциального источника воспламенения, В	Расстояние от потенциального источника воспламенения до компонентов или частей, расположенных внизу или сбоку, мм, не менее	Расстояние от потенциального источника воспламенения до компонентов или частей, расположенных сверху, мм, не менее	Категория огнестойкости по МЭК 60707
Свыше 50 до 400 включительно (пиковое значение) переменного или постоянного тока	13	50	FH от 3 до 40 мм/мин
» 400 » 4000 »	13	50	FV2
» 4000 (пиковое значение) переменного или постоянного тока	D*	D**	FV1
*D равно 13 мм или напряжению разомкнутой цепи потенциального источника воспламенения в киловольтах, в зависимости от того, какое больше. **D равно 50 мм или напряжению разомкнутой цепи потенциального источника воспламенения в киловольтах, в зависимости от того, какое больше.			

Внутренние противопожарные кожухи не должны иметь отверстий для вентиляции, превышающих 1 мм, независимо от длины.

Отверстия для соединяющих проводов должны быть целиком заполнены проводами.

Контрольные вопросы

1. Перечислите опасные факторы при работе с ЭС.
2. Классы ЭС по электробезопасности.
3. Какие требования предъявляются к ЭС класса I?
4. Какие требования предъявляются к ЭС класса II?
5. Какие ЭС относятся к классу III?
6. Как проверяется устойчивость ЭС на объекте эксплуатации?

15. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Лекция 42

П л а н л е к ц и и

15.1. Особенности конструкций наземных стационарных ЭС.
15.2. Особенности конструкций наземных транспортируемых ЭС.
15.3. Особенности конструкций наземных переносных ЭС.
15.4. Особенности конструкций наземных носимых ЭС.
15.5. Особенности конструкций бортовых ЭС.
Контрольные вопросы.
Л и т е р а т у р а: [15, 24, 52, 53].

15.1. Особенности конструкций наземных стационарных ЭС

Наземные стационарные ЭС применяются в широковещательных радио- и телевизионных передающих станциях, вычислительных системах для научных исследований и управления народным хозяйством, наземных частях систем спутниковой связи, электронных и квазиэлектронных АТС, системах управления воздушным движением, системах автоматизированного проектирования и подготовки производства и т. д. Эти ЭС, как указывалось, состоят из большого числа сложных подсистем и отдельных устройств, часть которых работает в автоматическом режиме, другая часть – во взаимодействии с человеком-оператором.

К месту установки они обычно доставляются упакованными. Поэтому такие механические воздействия, как вибрации и удары, вызванные транспортированием, при разработке конструкции стационарной ЭС можно не учитывать (если это специально не оговорено техническими требованиями). Не предусматривается также возможность падения и погружения в воду. На ЭС, предназначенные для работы в отапливаемом помещении, не предусматривается воздействие инея и росы, дождя и воздушно-пылевого потока. Таким образом, требование устойчивости к дестабилизирующим факторам для этого вида ЭС гораздо менее жесткие, чем для транспортируемых или носимых ЭС.

Стационарные ЭС рассчитаны на длительные сроки эксплуатации. Использование ЭРЭ, ИС в герметичных корпусах облегчает замену вышедших из строя ЭРЭ. Сложность электрической схемы, многообразие выполняемых ЭС функций приводят к сложности конструкторской реализации, что обусловлено большим числом аналоговых и цифровых узлов устройств памяти, источников питания.

Конструктивно стационарные ЭС обычно состоят из большого числа стоек, шкафов, пультов, тумб, блоков, периферийных устройств (дисплеев, печатающих устройств, графопостроителей, антенн и т. д.). Для обеспечения взаимодействия отдельных устройств системы используют кабельные линии связи или кабельные линии и радиоканалы. Сложностью конструкции наземных ЭС обусловлены их большие габариты, масса, стоимость и энергопотребление, которые ограничиваются только стоимостью эксплуатации (площадь используемых помещений, расход материалов и электроэнергии и т. д.). Высокая стоимость стационарных ЭС предполагает их продолжительную эксплуатацию, высокую ремонтопригодность и возможность модернизации эксплуатируемых ЭС по мере необходимости.

Особенностью стационарных ЭС является также то, что отдельные устройства (передатчики, приемники, процессоры, запоминающие устройства, устройства питания, блоки отображения информации и т. д.) разрабатываются различными ведомствами, что приводит к большому разнообразию конструкторских решений.

15.2. Особенности конструкций наземных транспортируемых ЭС

Транспортировке подвергаются ЭС различного назначения: связные, навигационные, радиолокационные, контрольно-испытательные, измерительные и т. д. Транспортируемые ЭС устанавливают на автомобильном, гусеничном, водном и железнодорожном транспорте. Водный транспорт делится на речные и морские суда гражданского флота (пассажирские, грузовые, рыболовные, ледокольные, исследовательские и т. д.) и корабли военно-морского флота (надводные, подводные лодки).

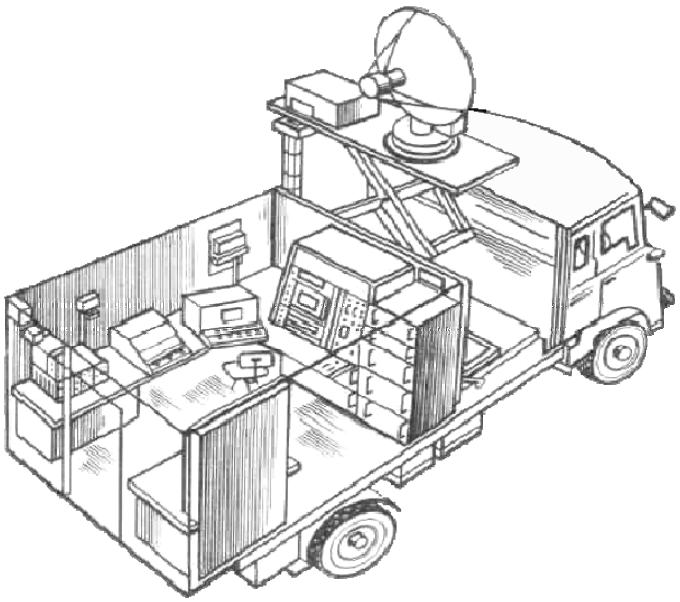
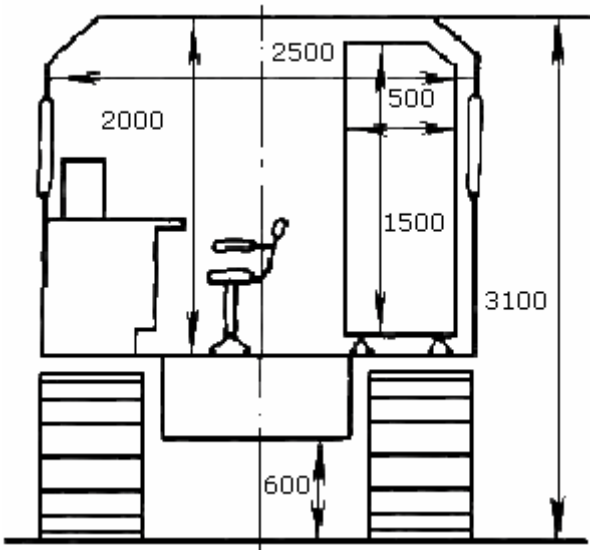
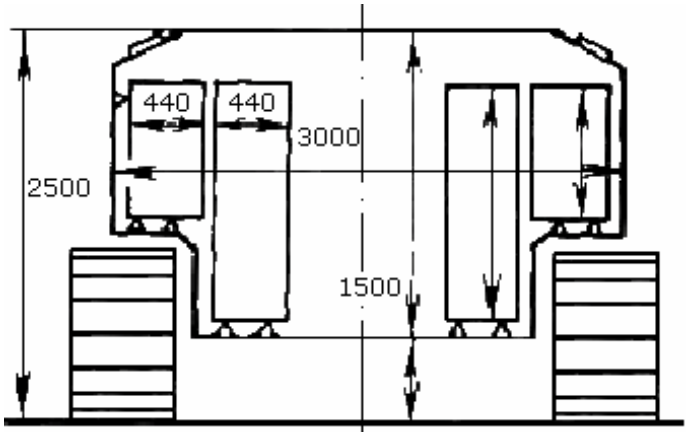


Рис. 15.1. Компоновка подвижной станции радиопротиводействия



а



б

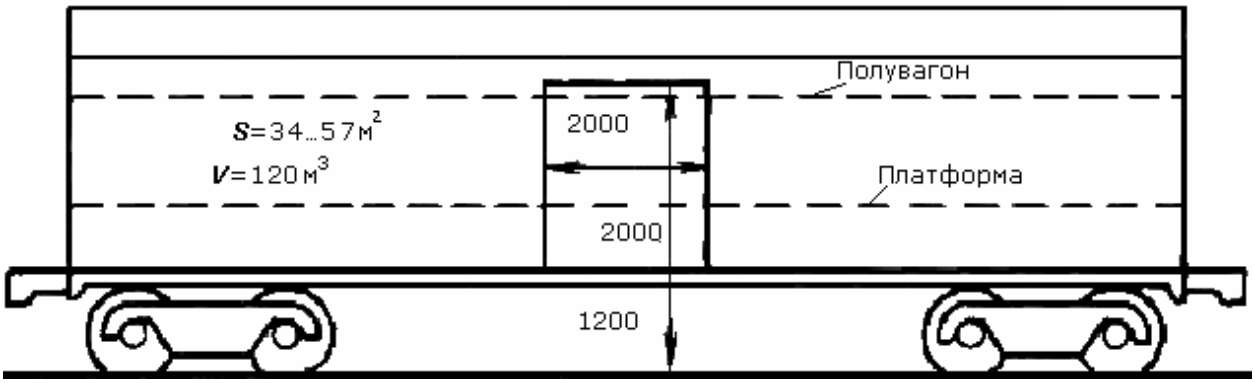
Рис. 15.2. Размещение ЭС в кузове обычной высоты (*а*)
и низком кузове (*б*) для шасси на гусеничном ходу

При разработке конструкции транспортируемых ЭС прежде всего надо учитывать габариты и форму помещения объекта установки ЭС. На рис. 15.1 показано размещение ЭС в автофургоне, на рис. 15.2 – в фургоне на гусеничном шасси, на рис. 15.3 – размеры помещения железнодорожного вагона и путевых строений. Отдельные устройства размещаются вдоль передней и боковой стенок автофургонов, кузовов гусеничных шасси, а в задней стенке обычно имеется дверной проем. Операторы располагаются в центральной части фургона.

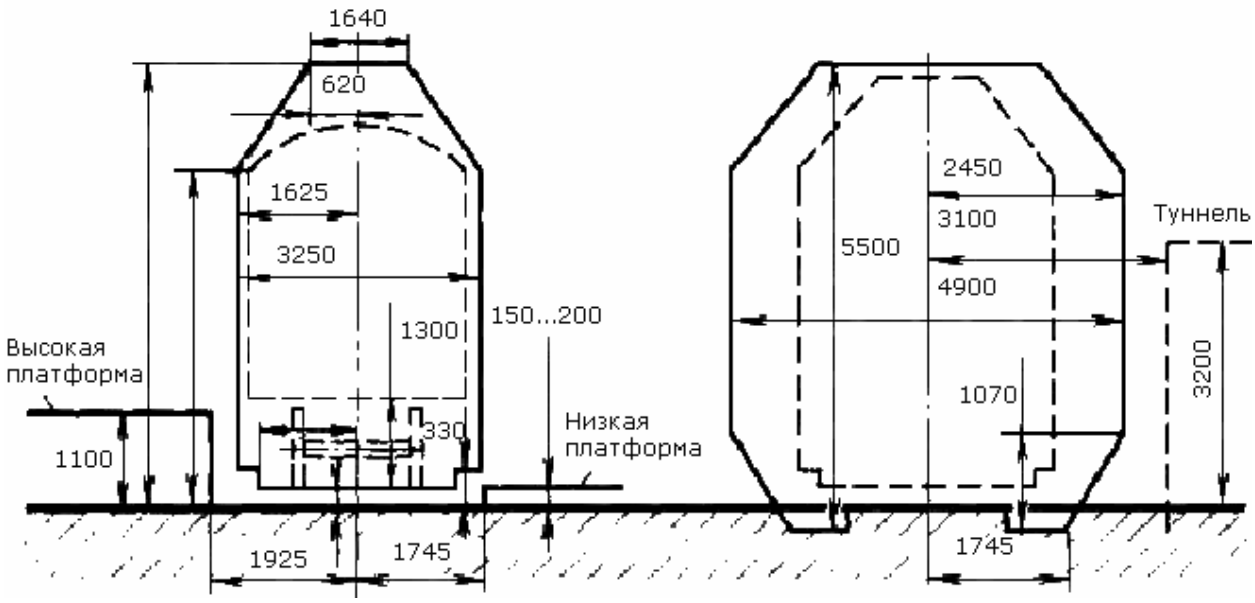
Теплоотвод в наземных транспортируемых ЭС обычно осуществляется естественной или принудительной воздушной конвекцией; в ЭС водного транспорта для охлаждения можно использовать забортную воду. При централизованной принудительной вентиляции воздух перед подачей в помещение может очищаться, охлаждаться или подогреваться с использованием

кондиционера. Особенно актуальна очистка воздуха в случае опасности радиоактивного заражения.

Антенны, размещаемые на транспортных средствах, как правило, выполняются в виде выносных узлов. Антенны значительных габаритов изготавливаются выдвижными, сборно-разборными (рис. 15.4). Для ускорения развертывания используются зонтичные антенны, надувные и т. д.



а



б *в*

Рис. 15.3. Основные размеры четырехосных железнодорожных платформ, полувагонов и дверных проемов в них (*а*), допустимые габариты подвижного состава железных дорог (*б*) и габариты расположения путевых строений (*в*)

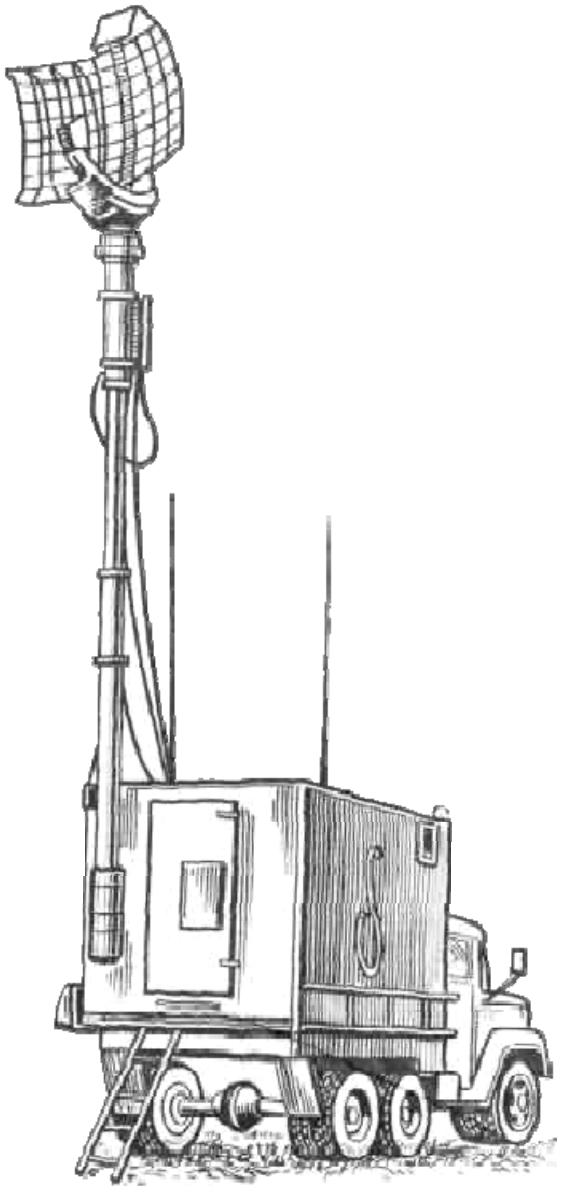


Рис. 15.4. Возимая связная радиостанция, размещаемая на кузове автомобиля

Общая масса транспортируемых ЭС не должна превышать двух третей грузоподъемности транспортного средства (одна треть остается для операторов и запасного имущества).

Кроме размеров объекта установки на характер конструкции транспортируемого ЭС оказывают влияние различные дестабилизирующие факторы – вибрации, удары, линейные ускорения, изменение температуры внешней среды, термоудары, воздействие инея и росы, морского тумана и т. д.

Для автомобильных и железнодорожных ЭС можно не учитывать такие факторы, как падение аппаратуры с заданной высоты и погружение в воду, воздействие пыли, если это не оговорено в технических требованиях. Спецификой транспортируемых ЭС является усиленная конструкция стоек, блоков, ячеек, а также амортизация стоек.

При разработке конструкции транспортируемых ЭС необходимо учитывать технологические факторы: использование типовых конструкций, пре-

емственность разрабатываемой конструкции относительно изделий-аналогов; соответствие способов обработки и сборки типу производства; оптимальность выбранных допусков и шероховатости поверхности деталей; рациональность использования драгоценных металлов и дефицитных материалов; токсичность технологических процессов и т. д.

15.3. Особенности конструкций наземных переносных ЭС

К переносным ЭС относят устройства массой до 30 кг, перемещаемые в неработающем состоянии одним-двумя операторами. Ввиду все большей миниатюризации этот класс наземных ЭС непрерывно расширяется и в настоящее время представлен: видеозвуковоспроизводящими устройствами (радиоприемники, телевизоры, магнитофоны, видеокамеры); настольными вычислителями (ПК и пр.); различными измерителями (осциллографы, генераторы, вольтметры, измерители теплового поля, частотомеры); медицинской аппаратурой (электрокардиографы, дефибрилляторы); аппаратурой специального назначения (вычислители для управления артиллерийским огнем, устройства наведения тактических ракет).

Переносные ЭС могут эксплуатироваться в помещении или вне его. Поэтому требование устойчивости к дестабилизирующим климатическим и механическим воздействиям для переносных ЭС являются промежуточными между требованиями, предъявляемыми к устойчивости стационарных и транспортируемых ЭС. Для бытовых ЭС они совпадают с требованиями к стационарным ЭС, работающим в отапливаемом помещении, а для ЭС специального назначения – с требованиями к транспортируемым ЭС по климатическим воздействиям (требования по механическим воздействиям более мягкие, так как носимые ЭС перевозятся в упакованном виде).

Рис. 15.5. Видеокамера JVC GR-DX97

Рис. 15.6. Телевизор Panasonic

Рис. 15.7. Ноутбук Toshiba

На конструкцию переносных ЭС также оказывают влияние такие факторы, как удобство переноски, способы миниатюризации, способы обеспечения устойчивости к климатическим и механическим воздействиям, защита от

собственного тепловыделения, специфика базовой конструкции, обеспечение эстетичности и технологичности.

На рис. 15.5, рис. 15.6, рис. 15.7 представлены примеры конструкции переносных ЭС.

Несмотря на то что переносные ЭС значительно различаются по конструкции, некоторые их особенности являются общими для всей группы, а именно:

- максимальная масса ЭС зависит от конструкции приспособлений для переноски и не должна превышать 15 кг при наличии одной ручки (лямки) для переноски. Если ЭС можно удержать руками (это позволяют его размеры и масса), то ручки можно не делать;
- охлаждение, как правило, осуществляется с помощью воздушной конвекции (естественной или принудительной с использованием вентиляторов);
- наличие защиты от климатических и механических воздействий;
- комплектация дополнительными деталями и узлами для замены вышедших из строя ИС, ЭРЭ и расширения выполняемых ЭС функций (кабели, переходники, делители напряжения и т. д.).

15.4. Особенности конструкций наземных носимых ЭС

Носимые ЭС обычно располагаются на теле человека или его одежде. Они функционируют в процессе переноски, а также при воздействии дестабилизирующих факторов. Носимые ЭС бывают *бытового* (часы, телевизоры, радиоприемники, магнитофоны, микрокалькуляторы, ПК, диктофоны и т. д.) и *специального назначения* (связные приемопередатчики, телевизионные передающие камеры на приборах с зарядовой связью и т. д.).

На конструкцию носимых ЭС оказывает влияние большое число факторов: необходимость минимизации габаритов, массы, энергопотребления, стоимости; защита от влияния дестабилизирующих факторов; химическая совместимость материалов с телом человека (исключение раздражения кожи); ремонтопригодность и технологичность; эстетичность и эргономичность.

Принято, что масса карманных ЭС не должна превышать 0,7 кг, носимых на ремне через плечо – 3 кг, носимых за спиной – 10 кг. Это обеспечивается использованием микроэлектронной маломощной элементной базы (например, на основе комплементарных МДП-структур), миниатюрных элементов связи (кнопки, наушники, индикаторы), ударопрочных пластмасс для несущих конструкций (например, ударопрочного полистирола).

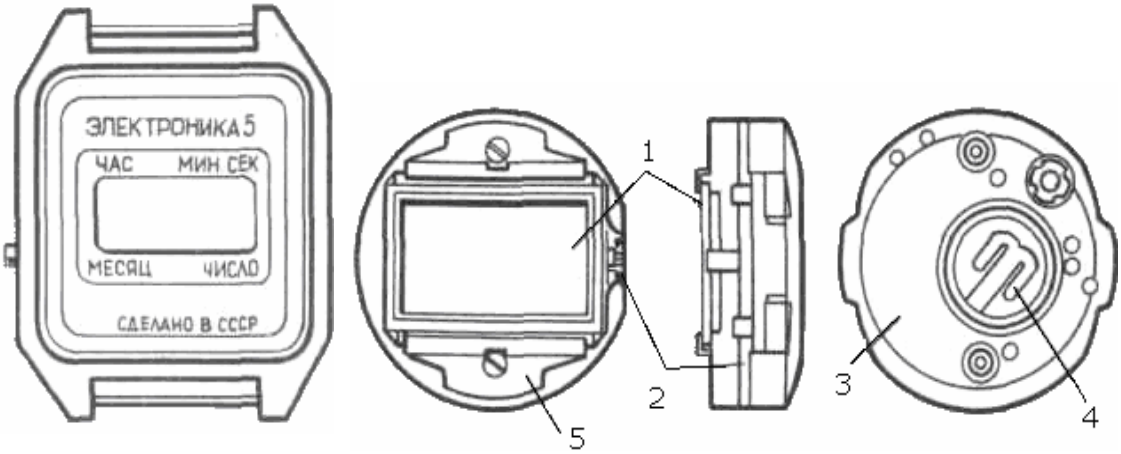
Спецификой носимых ЭС является наличие в них цифровых и аналоговых узлов, портативных автономных источников питания, преобразователей напряжения (осуществляющих повышение напряжения или формирование нескольких различных номиналов). Это предъявляет определенные требова-

ния к электромагнитной совместимости компонентов и узлов. Отвод теплоты благодаря небольшой выделяемой мощности осуществляется за счет естественной воздушной конвекции.

Рассмотрим пример самого распространенного носимого ЭС – электронные часы, которые обладают такими преимуществами, как точность хода, отсутствие подзавода, возможность выполнения других функций – микрокалькулятора, программного сигнализатора, календаря, секундомера.

Рис. 15.8. КПК hp iPAQ rx3715

Рис. 15.9. Цифровой диктофон D-Pro DR-1710



а б в г

Рис. 15.10. Электронные наручные часы «Электроника-5»: *а* – общий вид; *б* – вид на электронный блок со стороны индикатора; *в* – вид сбоку; *г* – вид со стороны гнезда под батарейку; *1* – жидкокристаллический индикатор; *2* – печатная плата; *3* – пластмассовый корпус блока питания; *4* – пружинный контакт для подключения батареи питания; *5* – скобы для прижима индикатора к эластомерному соединителю типа «зебра»

В конструкции наручных часов «Электроника-5» (рис. 15.10) использована несколько измененная конструкция корпуса обычных наручных механических часов. Электронный блок представляет слоистую конструкцию цилиндрической формы. Основой является печатная плата из стеклотекстолита дисковой формы, на которой установлены дискретные компоненты: кварце-

вый резонатор, ИС пересчетного устройства, ИС преобразователя напряжения, лампочка подсветки индикатора и т. д. Над платой располагается жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), соединенный с платой с по-мощью эластомерных соединителей, под платой (в специальной пластмассовой обойме с запрессованными контактами) – серебряно-цинковый элемент питания типа СЦ-21.

15.5. Особенности конструкций бортовых ЭС

К бортовым относятся ЭС, устанавливаемые на воздушных шарах, дирижаблях, вертолетах, беспилотных летательных аппаратах, дозвуковых и сверхзвуковых самолетах, больших и малых ракетах, космических объектах (искусственные спутники Земли, пилотируемые станции, транспортные космические корабли многоразового использования, межпланетные автоматические станции).

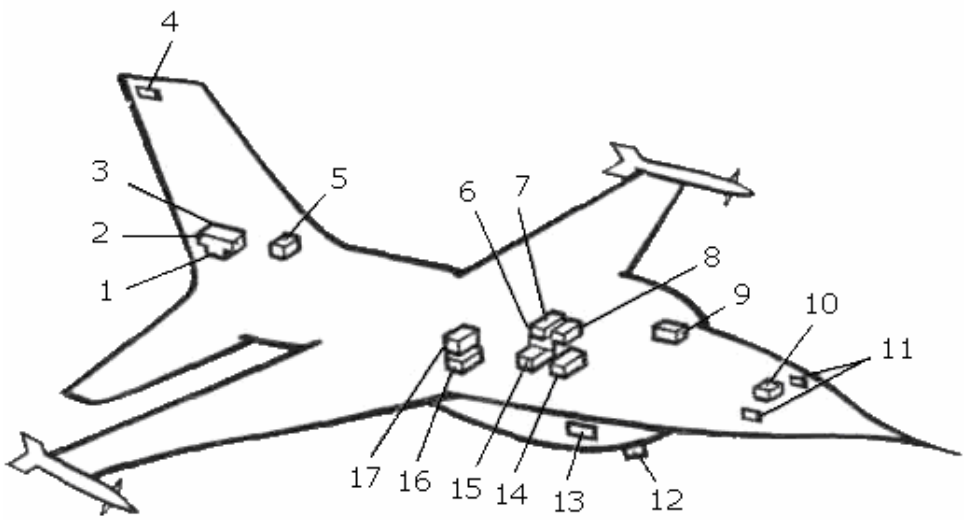


Рис. 15.11. Размещение системы Rapport-3 на самолете F-16: *1* – антенны передатчика помех в хвостовом отсеке; *2* – усилитель мощности; *3* – передатчик имитационных помех в хвостовом отсеке; *4*, *11* – антенны пеленгатора; *5*, *10* – приемники пеленгатора; *6* – усилитель мощности; *7* – задающий генератор; *8* – передатчик имитационных помех в носовом отсеке; *9* – блок управления и индикации; *12* – антенна приемника диапазона частот 0,5–2 ГГц; *13* – антенны передатчика помех в носовом отсеке; *14* – приемник диапазона частот 0,5–2 ГГц; *15* – процессор; *16* – блок управления приемником диапазона частот 2–8 ГГц; *17* – приемник диапазона частот 2–8 ГГц

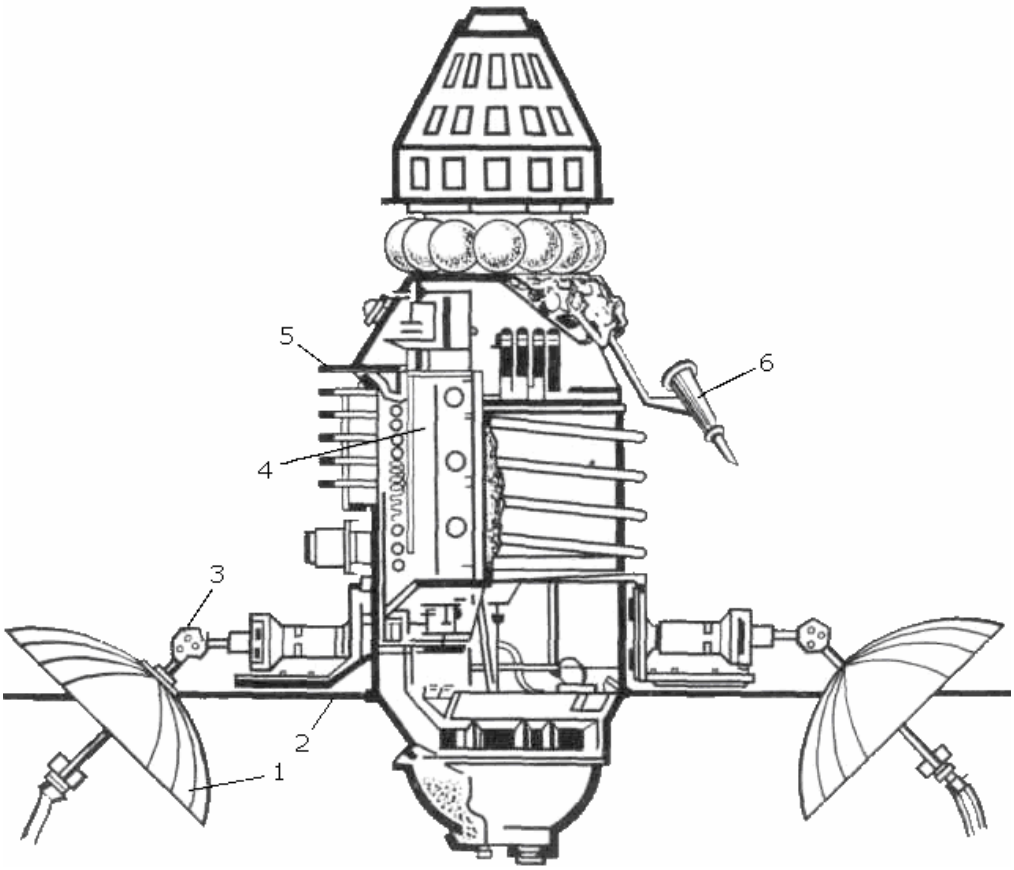


Рис. 15.12. Компоновка спутника связи «Молния-1»: *1* – антенны ретранслятора; *2* – солнечные батареи; *3* – привод антенны; *4* – блоки ЭС; *5* – корпус; *6* – телевизионная камера с системой самонаведения

На конструкции бортовых ЭС оказывают влияние различные ограничения: характер размещения ЭС на объекте установки, необходимость минимизации массы и габаритов, обеспечение заданной надежности при воздействии дестабилизирующих факторов, наличие типовых конструкций.

Размещение бортовых ЭС на объекте установки может быть централизованным и децентрализованным. Централизованно могут размещаться блоки РЛС, блоки вычислительной системы или системы управления каким-либо объектом (например, двигателем, но и в этих случаях отдельные узлы могут быть вынесены (индикатор РЛС – на пульт перед летчиком, датчики и исполнительные механизмы – к управляемому агрегату).

Децентрализация размещения блоков по объекту установки требует организации дополнительных линий связи, использования соединителей и принятия мер по обеспечению электромагнитной совместимости (экранирование, согласование линий связи и т. д.).

Пример децентрализованного размещения ЭС на самолете F-16 (США) приведен на рис. 15.11. Но даже в этом случае блоки (*1*–*3*) размещены централизованно в хвостовой части самолета.

Другим примером децентрализованного размещения ЭС является спутник связи «Молния-1» (рис. 15.12).

На бортовые ЭС могут воздействовать различные климатические и механические факторы. К климатическим факторам относятся влажность и температура.

Диапазон изменения температур окружающей среды для бортовых ЭС шире, чем для наземных, так как зависит от высоты над поверхностью Земли. Высокие температуры могут иметь место в результате трения обшивки сверхзвуковых самолетов и ракет о плотные слои воздуха. Сам объект установки ЭС может являться источником высоких (двигатели) и низких температур (баки с охлажденным горючим). К повышению температуры может приводить и тепловыделение самих ЭС.

Влажность окружающей среды может меняться в широких пределах – от минимальной (в салоне пассажирского самолета) до максимальной (ЭС, установленные вне герметизированной кабины). Для самолетных ЭС особое значение имеет изменение атмосферного давления (при разгерметизации кабины), что требует прочных гермокорпусов. Кроме того, понижение атмосферного давления приводит к уменьшению электрической прочности воздуха, минимум которой соответствует высоте 22 000–24 000 м. Возникающие при коронном разряде озон и азотистые соединения (при наличии влаги) могут вызвать коррозию. Коронный разряд может привести к сбою в работе ЭС.

Существенным климатическим фактором для бортовых ЭС является возможность резких перепадов температуры (тепловых ударов), например для самолетных ЭС – от минус 60 до 150 °С. Это накладывает определенные ограничения на ТКЛР соединяемых компонентов.

Механические динамические воздействия объекта установки обусловлены работой двигателя, перегрузками при маневрировании, аэродинамическим торможением при вхождении в плотные слои атмосферы. Большие ударные перегрузки могут возникнуть при старте малых ракет, выстреле управляемого снаряда из пушки, реакции материала при снятии перегрузки. Пренебречь механическими воздействиями можно лишь для ЭС, устанавливаемых на воздушных шарах и дирижаблях, имеющих малую скорость движения.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлены максимальные габариты бортовых ЭС?
2. Чем обусловлены максимальные габариты носимых ЭС?
3. Чем обусловлены максимальные габариты переносных ЭС?
4. Чем обусловлены максимальные габариты возимых ЭС?
5. Чем обусловлена максимальная масса возимых ЭС?
6. Чем обусловлена максимальная масса носимых ЭС?
7. Чем обусловлена максимальная масса переносных ЭС?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии проектирования и производства ЭС постоянно совершенствуются и развиваются. Новые материалы, компоненты и технологические процессы позволяют получать изделия с низким энергопотреблением, малых габаритов и массы. Более того, свойства и форма некоторых ЭС могут оперативно меняться по желанию потребителя или вследствие изменения внешних воздействий. Это легко показать на примере носимой электроники.

Термин «носимая электроника» (*wearable electronics*) появился в конце прошлого века. К этой области относятся электронные устройства, носимые пользователем на себе или встроенные в одежду и аксессуары, например украшения.

Первыми устройствами, относящимися к этому классу, стали электронные часы и кардиостимуляторы. В настоящее время перспективным направлением является встраивание носимой электроники в одежду или обувь. Так, бейсбольную кепку со встроенным видеорегистратором (рис. 3.1) можно отнести как к устройствам развлечения, так и к устройствам обеспечения личной безопасности. Видео в разрешении 720 × 480 пикселей сохраняется на SD-карте емкостью 4 Гб. Аккумулятора хватает на один час непрерывной работы. Стоимость головного убора – $1275.

При встраивании навигационной системы в обувь пешехода в ней размещается модуль вычисления, приемник GPS и источник питания. Испытания системы NavShoe (2005) показали очень хорошую точность: на 740 м кольцевого маршрута по сложной траектории со спусками и подъемами ошибка – 2 м.

Специальные туфли (рис. 3.2), названные Quantum Satellite Technology, в которые встроен GPS-передатчик, позволяющий отслеживать местоположение человека, предложил выпускать Сайо Исаак Дэниэль из Майами (США). Эти туфли не только позволяют следить за ними через спутники GPS, но и могут выручить в критической ситуации: при нажатии на специальную кнопку возле шнурков автоматически посылается сигнал бедствия.

Рис. 3.1. Видеокамера в бейсбольной кепке

Рис. 3.2. Ботинки с GPS

Smart Fabrics – «умная» ткань или одежда. Под этим термином понимается среда, которая обеспечивает функционирование и перемещение на теле человека устройств носимой электроники. В первую очередь это одежда и тканые аксессуары, которые за счет покроя или специфических свойств материалов создают необходимые потребительские функции. Другие словосочетания для обозначения этого же понятия – Smart Textile, Smart Shirt, Smart Clothing.

К самому простому в реализации типу «умной» одежды можно отнести одежду, в которой предусмотрены отсеки и карманы для размещения носимой электроники, а также вшиты проводные соединения между различными ее элементами. Данный тип носимой электроники состоит из отдельных модулей, которые встраиваются в конструктив одежды.

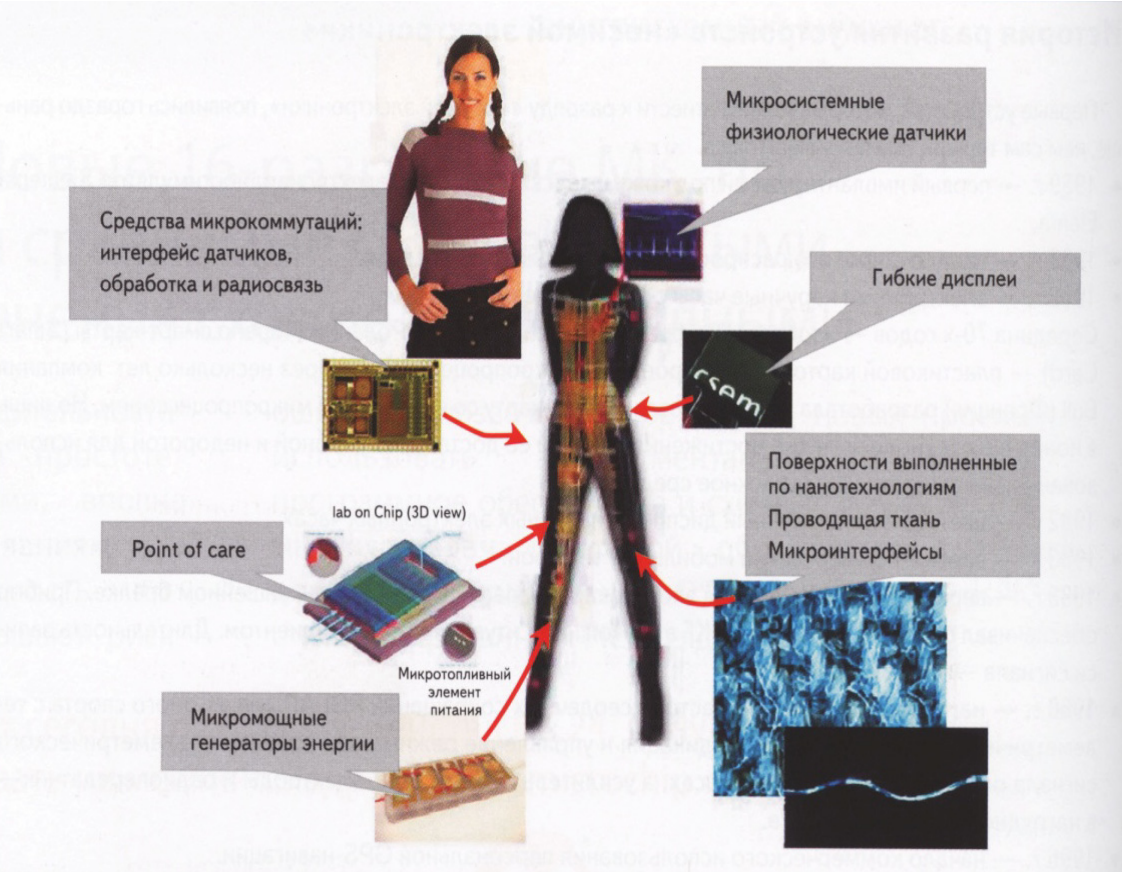


Рис. 3.3. Основные компоненты «умной» одежды SFIT

Electronic textiles (*e-textile*) – тип тканого материала с вшитыми нитями для создания соединений между электронными устройствами. В настоящее время компоненты и соединения являются частью ткани. В ткань интегрируются пассивные компоненты носимой электроники – устройства компьютерного ввода информации, антенны, датчики и т. д.

Следующее поколение Smart Fabrics имеет более высокий уровень интеграции. Оно обозначено термином SFIT (Smart Fabric and Interactive Textile). Этот тип «умной» одежды подразумевает полную интеграцию одежды и электронной системы: устройств ввода и обработки данных, датчиков, индикаторов, электрических соединений и источников питания. Такое построение дало жизнь и другому термину – System On Textile (SOT).

Лидерами в разработке концепций «умной» одежды являются фирмы: Nike, France Telecom, Philips Consumer Electronics, Textronics Inc., Invista, Sensatex.

Основные компоненты «умной» одежды поколения SFIT представлены на рис. З.3.

Можно привести и другие примеры применения современных ЭС, однако ограниченный объем данного издания не позволяет отразить в полной мере тенденции развития конструкций ЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры: монография / Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов и др. – М.: Радио и связь, 2000. – 389 с.

2. Бородулин, В. Н. Электротехнические и конструкционные материалы / В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В. М. Матюнин. – М.: Academia, 2007. – 280 с.

3. Волин, М. Л. Паразитные процессы в РЭА / М. Л. Волин. – М.: Радио и связь, 1981. – 296 с.

4. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. для вузов / М. М. Бутусов, С. М. Верник, С. Л. Галкин и др.; ред. В. Н. Гомзин. – М.: Радио и связь, 1992. – 416 с.

5. Гелль, П. П. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры / П. П. Гелль, Н. К. Иванов-Есипович. – Л.: Энергия, 1985.

6. Глушицкий, И. В. Охлаждение бортовой аппаратуры авиационной техники / И. В. Глушицкий. – М.: Машиностроение, 1987. – 120 с.

7. Грачев, А. А. Конструирование электронной аппаратуры на основе поверхностного монтажа компонентов / А. А. Грачев, А. А. Мельник, Л. И. Панов. – М.:НТ Пресс, 2006. – 384 с.

8. Григорьян, С. Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники: учеб. пособие / С. Г. Григорьян. – М.: Высш. шк., 2007. – 303 с.

9. Дульнев, Г. Н. Методы расчета тепловых режимов прибора / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М.: Радио и связь., 1990. – 312 с.

10. Жаднов, В. В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств / В. В. Жаднов, А. В. Сарафанов. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 464 с. (Серия «Библиотека инженера»).

11. Каленкович, Н. И. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: учеб. пособие для вузов / Н. И. Каленкович, Е. П. Фастовец, Ю. В. Шамгин. – М.: Высш. шк., 1989. – 244 с.

12. Кечиев, Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. / Л. Н. Кечиев. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 616 с.

13.Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры / ред.: Б. Ф. Высоцкий, В. Б. Пестряков, О. А. Пятлин. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.

14. Конструирование радиоэлектронных средств / В. Ф. Борисов, О. П. Лавренов, А. С. Назаров, А. Н. Чекмарев; ред. А. С. Назаров. – М.: Изд-во МАИ, 1996. – 380 с.

15. Конструкторское проектирование электронной аппаратуры: учеб. для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлев и др.; ред. В. А. Шахнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – 568 с.

16. Коммутационные устройства радиоэлектронной аппаратуры / Г. Я. Рыбин, Б. Ф. Ивакин, Н. В. Вьюков и др.; ред. Г. Я. Рыбин. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.

17. Кофанов, Ю. Н. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: учеб. пособие / Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2001. – 220 с.

18. Кофанов, Ю. Н. Разработка унифицированного конструктива БНК-3 судовой навигационной аппаратуры с унифицированной системой охлаждения и виброизоляции при помощи системы «АСОНИКА» / Ю. Н. Кофанов, А. И. Манохин, А. В. Сарафанов // Системные проблемы надежности, математического моделирования и информационных технологий: материалы междунар. науч.-техн. конф. и Российской науч. шк.: в 8-ми ч. Ч. 3. – М.: НИИ «Автоэлектроника», 2000. – С. 97–98.

19. Кофанов, Ю. Н. Моделирование и обеспечение надежности технических систем / Ю. Н. Кофанов. – М.: Горячая линия, 2006, – 360 с.

20. Кочкин, В. Ф. Лакокрасочные материалы и покрытия в производстве радиоаппаратуры / В. Ф. Кочкин, А. Е. Гуревич. – Л.: Химия, 1991. – 128 с.

21. Куземин, А. Я. Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры / А. Я. Куземин. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.

22. Лярский, В. В. Электрические соединители: справ. / В. В. Лярский, О. Б. Мурадян. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.

23. Медведев, А. Технология производства печатных плат / А. Медведев. – М.:Техносфера, 2005. – 360 с.

24. Ненашев, А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: учеб. для радиотехн. спец. вузов / А. П. Ненашев. – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.

25. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П. И. Овсищер, Ю. В. Голованов, В. П. Ковешников и др.; ред. П. И. Овсищер. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

26. Операционный усилитель с малым входным током LMC6001 // Интегральные микросхемы. Перспективные изделия.– М.: ДОДЭКА, 1996. – Вып. 2. – С. 43.

27. Оптические кабели связи российского производства: справ. / А. С. Воронцов, О. И. Гурин, С. Х. Мифтяхетдинов, К. К. Никольский, С. Э. Питерских. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.

28. Охрана труда в электроустановках: учеб. для вузов / ред. Б. А. Князевский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.

29. Парфенов, Е. М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов / Е. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачов. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.

30. Пирогова, Е. В. Проектирование и технология печатных плат: учеб. / Е. В. Пирогова. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.

31. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: учеб. пособие для вузов / Э. Л. Портнов. – М.:Горячая линия–Телеком, 2007. – 464 с.

32. Потапов, Ю. В. Система проектирования печатных плат Protel / Ю. В. Потапов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003. – 704 с.

33. Потапов, Ю. В. Protel DXP / Ю. В. Потапов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 276 с.

34. Преснухин, Л. Н. Конструирование электронных вычислительных машин и систем / Л. Н. Преснухин, В. Я. Шахнов, В. Я. Кустов. – М.: Высш. шк., 1986. – 572 с.

35.Разевиг, В. Д. Система проектирования печатных плат ACCEL EDA 12.1 (P-CAD для Windows) / В. Д. Разевиг. – М.: СК Пресс, 1997. – 368 с.

36. Разевиг, В. Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (Pspice) / В. Д. Разевиг. – М.: СК Пресс, 1996. – 272 с.

37. Разработка блока цифровой обработки сигналов для авиационной РЭС при помощи системы «АСОНИКА» / А. Г. Алексеев, А. И. Манохин, А. В. Сарафанов и др. // Системные проблемы надежности, математического моделирования и информационных технологий: материалы междунар. науч.-техн. конф. и Российской науч. шк.: в 8-ми ч. Ч. 4. – М.: НИИ «Автоэлектроника», 2000. – С. 117-118.

38. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: справ. / Э. Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов и др.; ред. Э. Т. Романычева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

39. Сарафанов, А. В. Автоматизация проектирования РЭС: учеб. пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: КГТУ, 1999. – 183 с.

40. Сарафанов, А. В. Основы проектирования электронных средств. Техническое задание и его анализ: учеб. пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 140 с.

41. Сарафанов, А. В. Электрические, электрофизические, эксплуатационные, теплофизические, физико-механические и надежностные параметры электрорадиоэлементов и материалов конструкций РЭС: учеб. пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: КГТУ, 1998. – 176 с.

42. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / ред. Р. Г. Варламов. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.

43. Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы / В. Л. Соломахо, Р. И. Томилин, Б. В. Цитович, Л. Г. Юдович. – Минск.: Высш. шк., 1988. – 272 с.

44. Справочник конструктора точного приборостроения / Г. А. Веркович, Е. Н. Головенкин, В. А. Глубков и др.; ред.: К. Н. Явленский, Б. П. Тимофеев, Е. Е. Чаадаева. – Л.: Машиностроение, 1989. – 792 с.

45. Средства и технологии проектирования и производства электронных устройств. – 2000. – № 1. – 32 с.

46. Сучков, Д. И. Основы проектирования печатных плат в САПР P-CAD 4.5, P-CAD 8.5-8.7 и ACCEL EDA / Д. И. Сучков. – М.: «Горячая линия–Телеком», 2000. – 476 с.

47. Электротехнические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры: справ. / И. Д. Груев, Н. И. Матвеев, Н. Г. Сергеева. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.

48. Яцук, О. Г. Компьютерные технологии в дизайне. Эффективная реклама / О. Г. Яцук, Э. Т. Романычева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 432 с.

49. http://physics.nad.ru

50. www.ect.ru

51. www.Rodnik/ru/htmls/eda/14/1.pdf

52. Компоненты и технологии. 2000–2007.

53. Сети и системы связи. 2002–2007.

54. Исследование тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования: монография / В. В. Гольдин, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов и др.; ред. А. В. Сарафанов. – М.: Радио и связь, 2003. – 456 с

Приложение
КРАТКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Абонентский громкоговоритель – бытовой радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и воспроизведения трансляционных программ, передаваемых по сети проводного вещания.

Абсолютная погрешность прибора – значение, получаемое при вычитании истинного значения из показываемого значения. Для вспомогательной части прибора это значение, получаемое при вычитании истинного значения из маркированного (заданного) значения.

Адаптация – изменение чувствительности глаза в зависимости от воздействия на него раздражителей. Различают темновую и световую адаптацию.

Адаптер видеотекста – бытовой радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и запоминания электрических сигналов справочной алфавитно-цифровой информации, поступающих по телефонному каналу связи, с последующим отображением на экране телевизионного приемника или бытового видеомонитора.

Адаптер телетекста – бытовой радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и запоминания электрических сигналов справочной алфавитно-цифровой информации телевизионных программ, передаваемых за время обратного хода луча по кадру с последующим отображением на экране телевизионного приемника или бытового видеомонитора.

Аддитивный процесс – процесс получения проводящих рисунков, заключающийся в избирательном осаждении проводникового материала на нефольгированный материал основания.

Аккомодация – процесс фокусирования хрусталика глаза на объекте.

Активная антенна – антенна с встроенным усилителем принимаемых сигналов, предназначенная для приема и усиления радио- и телевизионного вещания.

Активная (бытовая) акустическая система – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, функционально и конструктивно объединяющий громкоговоритель и усилитель мощности сигналов звуковой частоты.

Активная виброзащита – вибрационная защита, использующая энергию дополнительного источника.

Акустический шум – нерегулярное или статистически случайное звуковое колебание.

Амплитуда гармонических колебаний (вибрации) – максимальное значение величины, характеризующей вибрацию при гармонических колебаниях (вибрации).

Амплитудно-частотная характеристика – зависимость амплитуды вынужденных колебаний или вибрации системы от частоты гармонического возбуждения с постоянной амплитудой.

Анодирование – декоративное покрытие алюминия и его сплавов электрохимическим способом. Защитная пленка химически устойчива, обла-

дает высокими электроизоляционными свойствами, надежно защищает от коррозии, может быть окрашена.

Антирезонансные колебания (вибрация) – вынужденные колебания (вибрация) системы с двумя и более степенями свободы, соответствующие одному из минимумов амплитудно-частотной характеристики.

Атмосферное давление – абсолютное давление околоземной атмосферы.

Атмосферные осадки – выпадающие или конденсированные осадки.

Атмосферные выпадающие осадки – вода в жидком и твердом состоянии, выпадающая из облаков.

Атмосферные конденсированные осадки – вода в жидком и твердом состоянии, образующаяся на земной поверхности и на предметах, находящихся вблизи от нее, в результате конденсации водяного пара, находящегося в воздухе.

Аэродинамический удар – механическое воздействие ударной волны, образующейся при движении летательного аппарата в атмосфере в момент достижения им сверхзвуковой скорости.

Базовый конструкторский документ – конструкторский документ, содержащий постоянные данные исполнений двух и более печатных плат.

Базовый способ выполнения конструкторских документов – способ выполнения комплекта конструкторских документов на печатные платы, при котором постоянные данные всех исполнений печатной платы содержатся в одном базовом конструкторском документе.

Бактерия – микроорганизм, обладающий клеточной оболочкой, но не имеющий клеточного ядра, размножающийся простым делением и способствующий разрушению изделий.

Биологический внешний воздействующий фактор – организмы или их сообщества, оказывающие внешние воздействия и вызывающие нарушение исправного и работоспособного состояния изделия.

Блок – устройство, обладающее меньшими функциональными возможностями по сравнению с прибором и комплексом; может входить в состав комплекса и прибора; функционально и конструктивно закончен, но самостоятельно не эксплуатируется.

(Бытовая) акустическая система – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для воспроизведения электрических сигналов звуковой частоты.

(Бытовой) видеомонитор – (бытовой) радиоэлектронный аппарат без высокочастотного тракта, предназначенный для воспроизведения видеоинформации на телевизионном экране со звуковым сопровождением.

(Бытовой) видеопроигрыватель – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для воспроизведения сигналов видеодиска через телевизионный приемник или (бытовой) видеомонитор.

(Бытовой) радиоэлектронный аппарат – радиоэлектронное устройство, применяемое (в быту) для выполнения одной или нескольких функций: приема, обработки, синтеза, записи, усиления и воспроизведения радиовеща-

тельных и телевизионных программ, программ проводного вещания, фонограмм, видеограмм, а также специальных сигналов.

(Бытовая) радиоэлектронная аппаратура – совокупность (бытовых) радиоэлектронных аппаратов.

(Бытовой) предварительный усилитель сигналов звуковой частоты – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для усиления электрических сигналов звуковой частоты до уровня линейного выхода.

(Бытовой) усилитель мощности сигналов звуковой частоты – бытовой радиоэлектронный аппарат, предназначенный для усиления мощности электрических сигналов звуковой частоты.

(Бытовой) электропроигрыватель – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для преобразования сигналов грампластинки в электрические сигналы звуковой частоты.

Бытовой электрофон – бытовой радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий электропроигрыватель, полный усилитель сигналов звуковой частоты и бытовую акустическую систему.

Блочный бытовой радиоэлектронный аппарат – бытовой радиоэлектронный аппарат, выполненный в раздельных корпусах и едином художественно-конструкторском исполнении.

Ветер – поток воздуха, движущийся со скоростью свыше 0,6 м/с.

Вибрационная устойчивость (виброустойчивость) – свойство изделия при заданной вибрации выполнять заданные функции и сохранять в пределах норм значения параметров.

Вибрационная прочность (вибропрочность) – прочность при и после заданной вибрации.

Вибрация – движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин.

Виброизоляция – метод вибрационной защиты посредством устройств, помещаемых между источником возбуждения и защищаемым объектом.

Виброизолятор – устройство, осуществляющее виброизоляцию.

Виброудар – ударный импульс с высокочастотным вибрационным заполнением.

Виброускорение – производная виброскорости по времени.

Видеообучающее устройство – радиоэлектронный аппарат, предназначенный для формирования учебной и/или обучающей информации на экране через телевизионный приемник или видеомонитор.

Внешний воздействующий фактор – явление, процесс или среда, внешние по отношению к изделию или его составным частям, которые вызывают или могут вызвать ограничение или потерю работоспособного состояния изделия в процессе эксплуатации.

Гармонические колебания – колебания (вибрация), при которых каждое значение колеблющейся величины (характеризующей вибрацию) изменяется во времени по закону $A = \sin(\omega t + \varphi)$, где A – амплитуда; t – время; ω – угловая частота; φ – начальная фаза.

Гибка – процесс постепенного изменения формы сечения плоской заготовки до требуемого профиля.

Гибкая печатная плата – печатная плата, имеющая гибкое основание.

Гидравлический удар – резкое повышение или понижение давления движущейся жидкости при внезапном уменьшении или увеличении скорости потока.

Давление – способ обработки материалов, основанной на их способности пластически деформироваться в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Двусторонняя плата – плата с печатными проводниками и элементами, расположенными с обеих сторон изоляционного основания.

Двойная изоляция – изоляция, включающая как основную, так и дополнительную изоляцию.

Дежурный режим – условия эксплуатации, при которых основные функции, такие как звук и/или изображение, выключены и аппаратура находится в работе только частично. В этих условиях постоянные функции, такие как часы, остаются и позволяют включить аппаратуру в работу полностью, например, автоматически или при помощи дистанционного управления.

Действительная мощность – максимальная мощность, которая может быть получена от питающей цепи при сопротивлении нагрузки, выбранном по максимальному значению мощности за время более 2 мин при отключенной цепи, получающей электропитание.

Декадная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 10.

Демпфер – виброзащитное устройство или его часть, создающие демпфирование вибрации.

Демпфирование вибрации – уменьшение вибрации вследствие рассеяния механической энергии.

Деталь – изделие, выполненное обычно из однородного по марке и наименованию материала без применения сборочных операций.

Детерминированные колебания (вибрация) – колебания (вибрация), представляющие собой детерминированный процесс.

Диапазон измерений (эффективный диапазон) – диапазон, определенный двумя значениями измеряемой величины, внутри которого установлены пределы погрешности измерительного прибора (и/или вспомогательной части).

Динамическая(ий) пыль (песок) – аэрозоль с твердой дисперсной фазой – пылью (песком), находящийся в динамическом состоянии.

Динамическое давление – механическое давление, интенсивность, точка приложения и направление которого изменяются во времени настолько быстро, что силы инерции учитываются.

Дисплей (видеомодуль, видеомонитор, видеодисплейный терминал) – выходное электронное устройство, предназначенное для визуального

отображения информации, используемой человеком при индивидуальном взаимодействии с техническими средствами системы.

Диссипативная(ый) сила (момент) – сила (момент), возникающая при движении механической системы и вызывающая рассеяние механической энергии.

Дистанционное управление – управление аппаратом на расстоянии, например, механическим, электрическим, акустическим способами или с помощью излучения.

Дифферент – наклон изделия, при котором его вертикальная ось отклонена в продольной плоскости симметрии от вертикали к земной поверхности.

Диффузия – молекулярный перенос вещества в среде, вызванный разностью концентраций (концентрационная диффузия), температур (термодиффузия) или давлений (бародиффузия).

Длина шкалы – длина линии дуги или прямой, проходящей через середины всех самых коротких отметок шкалы, расположенных между первой и последней отметками шкалы; выражается в единицах длины.

Дополнительная изоляция – независимая изоляция, дополняющая основную изоляцию и служащая для защиты от поражения электрическим током в случае пробоя основной изоляции.

Доступная часть – часть ЭС, которой можно коснуться при помощи испытательного пальца, соответствующего МЭК 61032. Любая доступная область непроводящей части рассматривается как область, покрытая токопроводящим слоем.

Зазор – кратчайшее расстояние между двумя токопроводящими частями в воздухе.

Защитная блокировка – средства, которые либо предотвращают доступ к опасной зоне, пока опасность существует, либо автоматически устраняют опасные условия при осуществлении доступа.

Защитное разделение – разделение между цепями посредством основной и дополнительной защиты (основная изоляция плюс дополнительная изоляция или плюс защитное экранирование) или равноценное обеспечение защиты, например посредством усиленной изоляции.

Защитное экранирование – отделение от опасных для жизни частей посредством проводящих экранов, соединенных с клеммой защитного заземления.

Звуковая волна – процесс распространения деформаций сжатия или разрежения в сплошной среде, происходящий с конечной скоростью (скоростью звука).

Звуковой процессор – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для создания звуковых эффектов и повышения объемности и выразительности звучания.

Звуковой удар – акустический эффект воздействия на окружающую среду ударных волн, образующихся при сверхзвуковом движении летательных аппаратов.

Звуковое поле – область среды, в которой возбуждены звуковые волны.

Земля – общий провод, линия нулевого потенциала, по которому протекают возвратные токи сигнальных линий и линий электропитания.

Знак безопасности – цветографическое изображение определенной геометрической формы с использованием сигнальных и контрастных цветов, графических символов и/или поясняющих надписей, предназначенное для предупреждения людей о непосредственной или возможной опасности, запрещения, предписания или разрешения определенных действий, а также для информации о расположении объектов и средств, использование которых исключает или снижает воздействие опасных и/или вредных факторов.

Знак качества – сертификационный знак (как правило, единый), удостоверяющий, что данная продукция прошла аттестацию качества по требованиям национальных или межнациональных стандартов.

Изотермическая поверхность – геометрическое место точек, имеющих одинаковую температуру.

Индустриальные помехи – электромагнитные помехи, создаваемые устройствами, не предназначенными для излучения электромагнитной энергии (источники электрической энергии, системы зажигания двигателей, электродвигатели, аппаратура промышленного и широкого потребления и т. д.).

Интегральное солнечное излучение – электромагнитное излучение, равное селективно фильтрованному спектру частот.

Интервал измерений – алгебраическая разность между верхним и нижним пределами диапазона измерений; выражается в единицах измеряемой величины.

Исполнение печатной платы – конструкция одной из печатных плат, информация о которой содержится в одном базовом конструкторском документе.

Источник питания – аппарат, получающий энергию от сети и питающий один или несколько других аппаратов.

Источник питания общего назначения – источник питания, который может быть использован без специальных мер не только для питания аппаратуры, относящейся к области применения настоящего стандарта, но и к другим устройствам или аппаратам.

Кассивер – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий тюнер и лентопротяжный механизм.

Кассета – функционально и конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из ограниченного количества субблоков, расположенных в одной или нескольких плоскостях, заключенных в рамочную конструкцию, на задней панели которой имеется разъем врубного типа.

Качка – колебание изделия, при котором его вертикальная ось отклоняется от вертикали к земной поверхности.

Квалифицированное лицо – лицо с соответствующим образованием и опытом работы, которые дают ему (ей) возможность избежать опасностей и предотвратить риск, который может создать электрический ток.

Класс I – конструкция аппарата, в которой защита от поражения электрическим током осуществляется не только посредством основной изоляции,

но и дополнительными мерами безопасности, предусматривающими подключение доступных токопроводящих частей к защитному (заземляющему) проводу в фиксированной проводке аппарата таким образом, чтобы доступные токопроводящие части не могли стать опасными для жизни в случае повреждения основной изоляции.

Класс II – конструкция аппарата, в которой защита от поражения электрическим током осуществляется не только посредством основной изоляции, но и дополнительными мерами безопасности, такими как двойная или усиленная изоляция. Эти меры не предусматривают подключение защитного заземления или выполнение специальных условий монтажа.

Класс точности – обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средства измерения, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Клеймение – нанесение на изделие знаков, удостоверяющих его качество.

Клеймо – знак, удостоверяющий качество изделия.

Клемма защитного заземления – клемма, с которой соединены части аппаратуры, которые должны быть заземлены в целях безопасности.

Ковка – процесс изготовления детали, заключающийся в изменении формы и размеров заготовки путем последовательного воздействия универсальным инструментом на отдельные участки заготовки.

Компаунд – композиция на основе органических (смол, битумов, масел) или неорганических (алюмофосфатов, металлометафосфатов) веществ.

Комплекс – конструктивно и функционально законченная единица, состоящая из отдельных устройств, не соединенных на предприятии-изготовителе в единое целое.

Комплект – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и предназначенные для вспомогательных целей.

Конвекция – перемещение макроскопических частей среды (жидкости или газа), приводящее к переносу массы, теплоты и других физических величин.

Конвективный массообмен – перенос вещества, вызванный совместным действием конвективного переноса вещества и молекулярной диффузии.

Конвергенция глаз – физиологический акт сведения зрительных осей глаз в одну точку при совместном действии глазных мышц и хрусталика.

Конструкция – сложный объект, состоящий из деталей, которые должны быть взаимосвязаны, для выполнения полезных целей.

Контактная площадка – токопроводящий участок, предназначенный для присоединения объемных проводников или выводов навесных элементов; при наличии монтажных отверстий это площадка, окружающая отверстия или примыкающая к ним, при отсутствии отверстий – площадка на конце проводника.

Контактный переход – токопроводящий участок, обеспечивающий электрический контакт между проводниками, находящимися в разных слоях многослойной платы.

Контактное отверстие – отверстие в двусторонней плате, предназначенное для осуществления электрического соединения проводников, расположенных с двух сторон изоляционного основания или в разных слоях многослойной платы, нанесением металлического покрытия на стенки отверстия или установки пустотелой заклепки (пистона).

Концевой контакт – контакт на краю платы, предназначенный для штекерного соединения с ответной частью соединителя (разъема).

Координатная сетка – сетка, определяющая положение контактных и монтажных отверстий, а также печатных проводников и других элементов на изображении платы в прямоугольной или полярной системе координат.

Коррозионно-активный агент морской воды (почвенно-грунтовой среды) – вещество, находящееся в морской воде (в почве и грунте) и приводящее к ускорению процессов разрушения изделия за счет коррозии.

Коррозионно-активный агент окружающей среды – вещество, находящееся в атмосфере и приводящее к ускорению процессов разрушения изделия за счет коррозии.

Коэффициент жесткости – взятая с противоположным знаком производная характеристики восстанавливающей силы или момента.

Коэффициент податливости – величина, обратная коэффициенту жесткости.

Коэффициент эффективности вибрационной защиты – отношение пикового или среднего квадратического значения виброперемещения (виброскорость, виброускорение защищаемого объекта или воздействующей на него силы) до введения виброзащиты к значению той же величины после введения виброзащиты.

Крен – положение изделия, при котором его вертикальная ось отклонена в поперечной плоскости симметрии от вертикали к земной поверхности.

Крепежное отверстие – отверстие, предназначенное для крепления платы в блоке или элементов на плате.

Крепление типа *Z* – такой способ крепления шнура питания, при котором он не может быть заменен без разрушения или повреждения прибора.

Лазерное излучение – электромагнитное хроматическое излучение видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазона, основанное на вынужденной эмиссии излучения атомов и молекул.

Лазерный электропроигрыватель – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для преобразования сигналов компакт-диска в электрические сигналы звуковой частоты.

Линейные ускорения – вид механических воздействий, характерных для всех объектов, движущихся с переменной скоростью (например, при разгоне или торможении).

Магнитоэлектрофон – бытовой радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий магнитофон-приставку, электропроигрыватель и полный усилитель.

Магнитофон-проигрыватель – (бытовой) магнитофон, предназначенный для записи и воспроизведения сигналов звуковой частоты.

Марка производственная – обозначение предприятия-изготовителя на изделии или упаковке; содержит: полное или сокращенное наименование предприятия, его местонахождение, наименование головной организации, сорт продукции и нормативно-технический документ (ГОСТ, РСТ, ТУ).

Маркирование – нанесение на изделие знаков, характеризующих это изделие.

Маркировка печатной платы – совокупность знаков и символов на печатной плате.

Материал на древесной основе – материал, в котором основной составляющей частью является механически обработанное натуральное дерево в смеси со связующим веществом.

Материал основания печатной платы – материал, на котором выполняется рисунок печатной платы.

Межслойное соединение – участок проводникового материала, входящий в рисунок печатной платы, предназначенный для электрического соединения проводящих рисунков на разных слоях или сторонах печатной платы.

Металлизированное отверстие печатной платы – отверстие в печатной плате с осажденным на стенках проводниковым материалом.

Механическое воздействие – передаваемое на конструкцию аппаратуры и ее элементы некоторое количество механической энергии определенного спектрального состава за счет действия на конструкцию внешних или внутренних сил, приводящее к изменению исходного состояния конструкции.

Механическое давление – давление, характеризующееся интенсивностью нормальных сил, с которой одно тело или среда действует на поверхность другого тела или среды.

Механическое крепление электрорадиоэлемента – крепление соответствующим способом выводов (обжатием или в отверстие контакта детали и др.) или корпуса электрорадиоэлемента (скобками, хомутами, мастикой и др.) к несущей конструкции, отвечающее требованиям электромонтажа.

Механический удар – кратковременное механическое воздействие твердых тел при их столкновении между собой и сопутствующие этому процессу явления.

Миниатюрный (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат с автономным или универсальным электропитанием, предназначенный для эксплуатации в процессе ношения с уменьшенными относительно носимых аппаратов массой и габаритами.

Многовыводные электрорадиоэлементы – электрорадиоэлементы с числом выводов больше четырех.

Многослойная плата – плата, выполненная в виде изоляционного основания (подложки), на которое нанесена система печатных проводников или проводников и элементов, расположенных в несколько слоев и разделенных промежуточными изоляционными пленками.

Многослойная сборная плата – плата, получаемая неразъемным соединением (например, склеиванием) нескольких обычных плат, обеспечивающим непосредственный электрический контакт между проводниками всех отдельных плат.

Монофонический (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат с монофоническим трактом сигнала.

Монтаж накруткой – механическое постоянное соединение металлического штыревого вывода с острыми гранями с накрученными оголенными проводниками.

Монтажное отверстие – отверстие, используемое для соединения выводов навесных элементов с печатной платой, а также для любого электрического подсоединения к проводящему рисунку.

Морской туман – конденсационные аэрозоли с жидкой дисперсной фазой морской воды, характеризующейся сложившимся постоянством солевого состава, в котором массовая доля ионов Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_4^-, Br^-, CO_3^{2-}, F^-, Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+} составляет 99,99 %.

Навесные элементы – электро- и радиоэлементы, закрепленные на печатной плате пайкой или сваркой, создающей электрический контакт с печатными проводниками.

Напряжение без пульсаций – напряжение постоянного тока, среднеквадратическое значение пульсаций которого составляет не более 10 % значения постоянной составляющей напряжения. Максимальное пиковое значение напряжения не превышает 140 В для систем постоянного тока без пульсаций номинальным напряжением 120 В и 70 В – для систем постоянного тока без пульсаций номинальным напряжением 60 В.

Начальная фаза гармонических колебаний (вибрации) – фаза гармонических колебаний (вибрации) в начальный момент времени.

Неискаженная выходная мощность – мощность сигнала синусоидальной формы, рассеиваемая на номинальном полном сопротивлении нагрузки и измеренная на частоте 1000 Гц в начале ограничения одного либо обоих пиков сигнала.

Непроводящий рисунок – рисунок на печатной плате, образованный диэлектрическим материалом.

Номинальное напряжение питания – напряжение питания или диапазон напряжений (в случае питания от трехфазной сети – напряжение между фазами), на которые аппарат рассчитан производителем.

Номинальное полное сопротивление нагрузки – указанное изготовителем сопротивление, к которому должна быть подключена выходная схема.

Номинальный ток потребления – ток потребления аппарата, работающего при номинальном напряжении питания в нормальных условиях эксплуатации.

Носимый (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат с автономным или универсальным электропитанием, с уменьшенными относительно стационарных аппаратов массой и габаритами, предназначенный для эксплуатации в процессе ношения.

Обученное лицо – лицо, соответственно осведомленное или проинструктированное квалифицированными лицами, что дает ему (ей) возможность избежать опасностей и предотвратить риск, который может создать электрический ток.

Объединенная печатная плата – печатная плата, предназначенная для электрического соединения двух или более печатных узлов.

Однокорпусной (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, конструктивно выполненный как единое целое.

Односторонняя печатная плата – печатная плата, имеющая одно основание, на одной стороне которого выполнен проводящий рисунок.

Оксидирование – получение окисной пленки на стали, алюминии и его сплавах. Такое покрытие имеет хороший внешний вид, антикоррозионные свойства, но непрочно и микропористо. Последнее свойство покрытия позволяет его использовать как грунт под окраску.

Октавная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2.

Опасные для жизни – условия с такими электрическими параметрами объекта, при которых может возникнуть опасный ток от прикосновения.

Основание печатной платы – элемент конструкции печатной платы, на поверхности или в объеме которого выполняется проводящий рисунок.

Основная изоляция – изоляция опасных для жизни частей, обеспечивающая основную защиту от поражения электрическим током.

Относительная толщина печатной платы – отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы. Толщина платы определяется толщиной материала основания с учетом толщины фольги.

Острота зрения (разрешающая способность) – свойство глаза обнаруживать малые объекты и различать тонкие детали.

Пассивная виброзащита – вибрационная защита, не использующая энергию дополнительного источника.

Передвижной аппарат – аппарат, специально сконструированный для частых перемещений с одного места на другое.

Перемычка печатной платы – отрезок проводникового материала, не входящий в рисунок печатной платы и обеспечивающий электрическое соединение между точками проводящего рисунка на одной стороне печатной платы.

Переносной (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат с сетевым или универсальным электропитанием,

конструкция которого предусматривает элементы для переноса вручную и имеет уменьшенную относительно стационарных аппаратов массу.

Период колебаний (вибрации) – наименьший интервал времени, через который при периодических колебаниях (вибрации) повторяется каждое значение колеблющейся величины (характеризующей вибрацию).

Периодические колебания – колебания (вибрация), при которых каждое значение колеблющейся величины (характеризующей вибрацию) повторяется через равные промежутки времени.

Периодическое испытание – испытание, которому подвергается каждый образец во время или после изготовления с целью подтверждения его соответствия определенным критериям.

Печатная плата, печатный ротор, кабель – изоляционное основание с нанесенными на его поверхность плоскими печатными проводниками, монтажом или печатной схемой.

Печатная полосковая линия – изоляционное основание с нанесенной на его поверхность системой плоских печатных металлических проводников различной конфигурации, выполняющих роль высокочастотных передающих трактов и обеспечивающих определенные электрические параметры.

Печатная схема – система печатных проводников и печатных электро- и радиоэлементов, нанесенных на общее изоляционное основание.

Печатный контакт – участок проводящего рисунка, служащий в качестве одной части контактной системы.

Печатный монтаж – система печатных проводников, обеспечивающих электрическое соединение элементов схемы или экранирование.

Печатный проводник – участок токопроводящего покрытия (слоя), нанесенного на изоляционное основание.

Печатный узел – печатная плата с подсоединенными к ней электрическими и механическими элементами и/или другими печатными платами и со всеми выполненными процессами обработки.

Печатный элемент – сопротивление, емкость, индуктивность, разъем, концевой контакт и другие элементы, получаемые нанесением на изоляционное основание слоя металла или диэлектрика.

Пластичность – способность материала получать остаточное изменение формы и размера без разрушения.

Пленочная микросхема – многослойная плата в миниатюрном или в микроминиатюрном исполнении.

Плесневый гриб – микроорганизм, развивающийся на металлах, оптических стеклах и других материалах в виде бархатистого налета, выделяющий органические кислоты, способствующие разрушению изделий.

Подтравливание печатного проводника – канавка или выемка у одного края проводника, вызванная процессом травления.

Поле зрения – характеристика зрения, определяющая углы обзора в вертикальной и горизонтальной плоскостях при неподвижном положении головы.

Полный усилитель сигналов звуковой частоты – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий предварительный уси-

литель сигналов звуковой частоты и усилитель мощности сигналов звуковой частоты.

Полоса частот – совокупность частот в рассматриваемых пределах.

Пользователь – любое лицо, не являющееся квалифицированным или обученным лицом, которое может соприкасаться с аппаратурой.

Портативный аппарат – специальный аппарат массой не более 18 кг, сконструированный для свободной переноски вручную.

Постоянно подключенная аппаратура – аппаратура, предназначенная для подключения к сети посредством соединения, которое не может быть разъединено вручную.

Потенциальный источник воспламенения – возможная неисправность, такая как плохой контакт или обрыв электрического соединения, включающего токопроводящий рисунок на печатной плате, которая может стать причиной возникновения огня, если в нормальных условиях напряжение разомкнутой цепи превышает 50 В постоянного тока или 50 В амплитудного значения переменного тока, а произведение данного напряжения на измеренный ток, который будет протекать через цепь с возможной неисправностью, превышает 15 В · А.

Преобразователь входных сигналов – устройство, предназначенное для преобразования энергии неэлектрического сигнала в электрическую энергию.

Преобразователь выходных сигналов – устройство, предназначенное для преобразования энергии электрического сигнала в энергию другого вида.

Прессование – процесс изготовления детали, заключающийся в продавливании заготовки, находящейся в замкнутой форме, через отверстие матрицы.

Прибор – функционально и конструктивно законченная единица, выполняет определенную задачу, автономно эксплуатируется и, в отличие от комплекса, собирается на заводе-изготовителе.

Припой – металл или сплав, предназначенный для соединения деталей пайкой. Температура плавления припоев должна быть ниже температуры плавления материалов паяемых деталей.

Проводящая фольга – листовой проводниковый материал, предназначенный для образования проводящего рисунка печатной платы.

Проводящий рисунок – рисунок печатной платы, образованный проводниковым материалом.

Проводящий слой печатной платы – проводящий рисунок, лежащий в одной плоскости.

Противопожарный кожух – часть аппарата, предназначенная для того, чтобы свести к минимуму риск распространения огня или пламени.

Прочность – способность изделия сопротивляться деформации или разрушению под действием статических или динамических нагрузок.

Прочность изделия к внешним воздействующим факторам – свойство изделия сохранять работоспособное состояние после воздействия на не-

го определенного внешнего воздействующего фактора в пределах заданных значений.

Путь утечки – кратчайшее расстояние между двумя токопроводящими частями, измеренное по внешней поверхности изоляционного материала.

Пыль – смесь твердых частиц малой массы, находящаяся в воздухе во взвешенном состоянии или медленно оседающая на поверхность предметов. Различают пыль естественную, образованную на поверхности Земли под влиянием Солнца, вулканов и т. д., и техническую, которая является следствием износа оборудования, обработки материалов, сжигания топлива и пр.

Рабочее напряжение – наибольшее напряжение, без учета неповторяющихся переходных процессов, которому подвергается или может быть подвергнута рассматриваемая изоляция во время работы аппарата при номинальном напряжении питания в нормальных условиях эксплуатации.

Рабочее тело – газообразное или жидкое вещество, с помощью которого осуществляется преобразование какой-либо энергии при получении холода, тепла или механической работы.

Равномерное поле – поле температур, в котором температуры всех точек некоторого объема равны между собой в любой момент времени.

Радиационное разогревание – повышение температуры конструктивных элементов изделий, облучаемых ионизирующим излучением, в результате превращения поглощенной материалами этих изделий энергии излучения в тепловую энергию.

Радиовещательный приемник – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и воспроизведения радиовещательных программ.

Разделительный трансформатор – трансформатор, у которого входные обмотки отделены от выходных обмоток, по крайней мере, с помощью основной изоляции.

Реактопласты – пластические массы, которые при нагревании и сжатии вначале размягчаются и частично плавятся, а затем переходят в неплавкое и нерастворимое соединение.

Резание – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя материала в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей детали.

Резонансные колебания (вибрация) – вынужденные колебания (вибрация) системы, соответствующие одному из максимумов амплитудно-частотной характеристики.

Резонансная частота колебательной системы – частота, при которой осуществляется резонанс.

Разъемный (бытовой) радиоэлектронный аппарат – однокорпусный (бытовой) радиоэлектронный аппарат, конструкция которого предусматривает возможность разъединения его на отдельные функционально и конструктивно законченные части.

Расстояние между проводниками – расстояние между краями соседних проводников на одном слое печатной платы.

Резист – покрытие диэлектрическое или металлическое, используемое в качестве защиты при выполнении последующих операций.

Резистивная маска для облуживания – теплостойкое покрытие, наносимое избирательно для защиты отдельных участков печатной платы в процессе облуживания.

Рисунок печатной платы – конфигурация проводниковых и/или диэлектрических материалов на печатной плате.

Сборочная единица – изделие, состоящее из двух или более частей с обязательным применением сборочных операций, позволяющих объединить составные элементы в единое целое.

Сборочные узлы – конструктивно законченные изделия, изготовленные с выполнением сборочных операций.

Свободное место печатной платы – участок печатной платы, где элементы проводящего рисунка и расстояния между ними могут быть выполнены номинальной величины.

Сейсмический удар – сейсмическое воздействие, вызванное искусственными взрывами.

Сейсмическое воздействие – подземные удары и колебания поверхности, вызванные естественными и искусственными причинами.

Сеткография – процесс переноса изображения на основание печатной платы путем продавливания краски через сетчатый трафарет с помощью ракеля.

Сеть – источник электроэнергии номинальным напряжением более 35 В (амплитудное значение) переменного или постоянного тока.

Синхронные колебания (вибрации) – два или более одновременно совершающихся периодических колебаний (вибрация), имеющих равные частоты.

Система охлаждения электронного средства – совокупность устройств и конструктивных элементов, применяемых для обеспечения нормального теплового и влажностного режимов электронного средства.

Случайные колебания (вибрация) – колебания (вибрация), представляющие собой случайный процесс.

Соединение с сетью – электрическое соединение с сетью, выполненное таким образом, что при его подсоединении к одному из полюсов сети через резистор сопротивлением 2000 Ом в этом резисторе возникает продолжительный ток более 0,7 А (пиковое значение), при этом аппарат не подключается к заземлению.

Соединитель (клемма) – часть аппарата, с помощью которой осуществляют соединение с внешними проводниками или другими аппаратами. Соединитель может иметь различное количество контактов.

Специальная среда – неорганические и органические соединения, масла, смазки, растворители, топлива, рабочие растворы, рабочие тела, внешние по отношению к изделию, которые вызывают или могут вызвать ограничение или потерю работоспособного состояния изделия в процессе его эксплуатации и хранения.

Специальный источник питания – источник питания, предназначенный для питания только специальной аппаратуры.

Статическое давление – механическое давление, интенсивность, точка приложения и направление которого изменяются во времени настолько медленно, что силы инерции не учитываются.

Статическая(ий) пыль (песок) – аэрозоль с твердой дисперсной фазой-пылью (песком), находящийся в статическом состоянии.

Стационарный (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат с сетевым электропитанием, конструкция которого не предусматривает элементы для переноса вручную.

Стереокомплекс – комплекс аппаратуры, состоящий из всех видов звуковых источников программ, усилителя и акустической системы в блочном исполнении.

Стереофонический (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат со стереофоническим трактом сигнала.

Стойкость изделия к внешним воздействующим факторам – свойство изделия сохранять работоспособное состояние во время и после воздействия на изделие определенного внешнего воздействующего фактора в течение всего срока службы в пределах заданных значений.

Сторона монтажа печатной платы – сторона печатной платы, на которой устанавливается большинство навесных элементов.

Сторона пайки печатной платы – сторона печатной платы, с которой производится пайка большинства навесных элементов.

Субтрактивный процесс – процесс получения проводящих рисунков, заключающийся в избирательном удалении участков проводящей фольги.

Суммарная толщина печатной платы – сумма толщин печатной платы и дополнительного химического или гальванического покрытий, которые являются составной частью печатной платы.

Твердость – способность материала сопротивляться внедрению в него другого материала, не получающего остаточных деформаций тела.

Телевизионный приемник – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и воспроизведения изображения и звука телевизионных программ.

Телекоммуникационная сеть – цепь, оканчивающаяся металлическим контактом, предназначенная для передачи телекоммуникационных сигналов звука, информации или другой связи; может быть общедоступной или частной.

Телемагнитола – бытовой радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий телевизионный приемник, тюнер и магнитофон-приставку.

Телерадиокомплекс – комплекс аппаратуры, обеспечивающий прием радиотелевизионных программ, запись аудио- и видеопрограмм, воспроизведение аудио- и видеозаписей с пластинок и других носителей информации.

Телерадиоприемник – бытовой радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий телевизионный приемник и тюнер.

Телерадиотюнер – бытовой радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий тюнер и телетюнер.

Телетюнер – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и преобразования сигналов радиовещательного телевидения в видеосигналы и сигналы звуковой частоты, воспроизведение которых осуществляется (бытовым) видеомонитором.

Температурное поле – совокупность числовых значений температуры в различных точках системы в данный момент времени.

Тепловая труба – устройство, предназначенное для переноса теплового потока с одного конца в другой за счет использования скрытой теплоты фазового превращения теплоносителя.

Тепловое излучение – процесс переноса теплоты, обусловленный превращением внутренней энергии вещества в энергию излучения, переносом ее в виде электромагнитных волн и поглощением веществом.

Тепловой удар – воздействие резкого изменения температуры окружающей среды.

Тепломассообмен – раздел физики, в котором рассматриваются процессы переноса теплоты (энергии) и массы (вещества).

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в сплошной среде, вызванный разностью температур.

Термоплавкий предохранитель – тепловое размыкающее устройство без возврата в исходное положение, которое действует только один раз, после чего требуется полная или частичная его замена.

Термопласты – пластические массы, которые при нагревании плавятся и твердеют только при охлаждении.

Терморезистор с положительным температурным коэффициентом – термочувствительный полупроводниковый резистор, который скачкообразно увеличивает свое сопротивление при возрастании температуры до определенного значения. Изменение температуры происходит либо при протекании тока через термочувствительный элемент, либо вследствие изменения окружающей температуры, либо при сочетании обоих факторов.

Технологическое отверстие – отверстие в печатной плате, предусмотренное для технологических целей и используемое при выполнении технологических операций.

Товарный знак (логотип, эмблема) – зарегистрированное в установленном порядке обозначение, помещаемое на товаре (или упаковке) промышленными и торговыми предприятиями для индивидуализации товара и его производителя (продавца).

Токопроводящий рисунок – конфигурация, образованная электропроводящим материалом печатной платы.

Толщина основания печатной платы – толщина материала основания печатной платы без проводящей фольги или осажденного металла.

Толщина печатной платы – толщина материала основания печатной платы, включая проводящий рисунок или рисунки.

Точность измерительного прибора – степень близости значений показаний измерительного прибора к истинному значению величины. Для вспомогательной части это качество, которое характеризует близость маркированного (заданного) значения к истинному значению. Точность измерительного прибора или вспомогательной части определяется пределами основной погрешности и пределами изменений показаний.

Транспортный (бытовой) радиоэлектронный аппарат – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для эксплуатации в транспортных средствах, с питанием от бортовой электросети или с универсальным электропитанием.

Тюнер – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для приема и преобразования сигналов радиовещания в сигналы звуковой частоты.

Тюнер-усилитель – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, конструктивно объединяющий тюнер и полный усилитель сигналов звуковой частоты.

Ударная волна – распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью переходная область в газе, жидкости или в твердом теле, в которой происходит резкое увеличение плотности, давления и температуры вещества.

Узел – сборочная единица, состоящая из ограниченного числа деталей и имеющая конструктивную автономию.

Узел координатной сетки – точка пересечения линий координатной сетки.

Узкое место печатной платы – участок печатной платы, где элементы проводящего рисунка и расстояния между ними могут быть выполнены только минимально допустимыми значениями.

Ультразвуковое разогревание – повышение температуры конструктивных элементов изделия под воздействием ультразвука, в результате превращения энергии ультразвуковых колебаний в тепловую энергию.

Усиленная изоляция – единая система изоляции опасных для жизни частей, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, эквивалентную двойной изоляции.

Усилитель звуковой частоты – автономный аппарат или часть аппарата, предназначенные для усиления сигналов звуковой частоты.

Установка электрорадиоэлемента – фиксированное расположение навесного электрорадиоэлемента относительно несущей конструкции и его механическое крепление, отвечающее требованиям электромонтажа.

Устойчивость изделия к внешним воздействующим факторам – свойство изделия сохранять работоспособное состояние во время действия на него определенного внешнего воздействующего фактора в пределах заданных значений.

Устройство дистанционного управления – вспомогательное радиоэлектронное устройство, предназначенное для управления работой бытового радиоэлектронного аппарата на расстоянии.

Устройство шумопонижения – вспомогательное (бытовое) радиоэлектронное устройство, предназначенное для уменьшения шумов при записи и/или воспроизведении звука.

Фаза гармонических колебаний (вибрации) – аргумент синуса, которому пропорционально значение колеблющейся величины (характеризующей вибрацию) при гармонических колебаниях (вибрации).

Фольгированный материал – материал основания печатной платы, имеющий с одной или двух сторон проводящую фольгу.

Формирование сигналов изображения – обработка, редактирование, манипулирование и/или накопление, хранение видеосигналов.

Формовка выводов электрорадиоэлемента – придание выводу электрорадиоэлемента конфигурации согласно определенному конструктивному исполнению, отвечающему требованиям электромонтажа.

Форма ударного импульса – зависимость ударного ускорения (ударной скорости, ударного перемещения, ударной деформации) от времени.

Фосфатирование – процесс образования на стали защитной пленки с высокими антикоррозионными и электроизоляционными свойствами, хорошей адгезией. Получаемое покрытие пористо, недостаточно прочно и используется как грунт под окраску.

Функциональный узел – устройство, предназначенное для выполнения одной или ограниченного числа функций.

Цвет контрастный – цвет для усиления зрительного восприятия и выделения на окружающем фоне знаков безопасности и сигнальной разметки, выполнения графических символов и поясняющих надписей.

Цвет сигнальный – цвет, предназначенный для привлечения внимания людей к непосредственной или возможной опасности, рабочим узлам оборудования, машин, механизмов и/или элементам конструкции, которые могут являться источниками опасных и/или вредных факторов.

Цветовое восприятие глаза – способность глаза различать цвета по цветовому фону, насыщенности и контрастности.

Цветомузыкальное устройство – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для светового цветного сопровождения музыкальных программ, связанного по амплитудно-частотным характеристикам с источником программ.

Цифровое кодирование – операция представления численного значения величины определенным цифровым кодом.

Частота периодических колебаний (вибрации) – величина, обратная периоду колебаний (вибрации).

Шаг координатной сетки – постоянная величина, определяющая расстояние между соседними линиями координатной сетки и кратность расстояний между монтажными отверстиями: для сетки в прямоугольной системе координат – линейный шаг, одинаковый по горизонтали и вертикали; для сетки в полярной системе координат – линейный шаг концентрических окружностей и угловой шаг радиальных линий.

Ширина гарантийного пояска – минимально допустимая ширина контактной площадки отверстия печатной платы в узком месте.

Ширина печатного проводника – поперечный размер проводника в любой точке, видимый в плате.

Штамповка – процесс изготовления детали, заключающийся в изменении формы и размеров заготовки давлением с помощью специализированного инструмента – штампа.

Шум – нерегулярное или статистически случайное колебание.

Эквалайзер – (бытовой) радиоэлектронный аппарат, предназначенный для коррекции амплитудно- и фазочастотных искажений устройств воспроизведения и записи звука.

Экран – металлическая оплетка в линиях связи, обеспечивающая их защиту от воздействия электрических, магнитных и электромагнитных полей.

Электрическое разогревание – повышение температуры конструктивных элементов изделия под воздействием электрического поля в результате превращения электрической энергии в тепловую энергию.

Электромонтаж – часть конструкции, предназначенная для обеспечения электрически неразрывных связей при объединении нескольких элементов нижестоящего иерархического уровня в элементы вышестоящего конструктивного уровня.

Электронный музыкальный инструмент – электронное устройство (электронный орган, электронное пианино или музыкальный синтезатор), которое воспроизводит музыку под управлением музыканта.