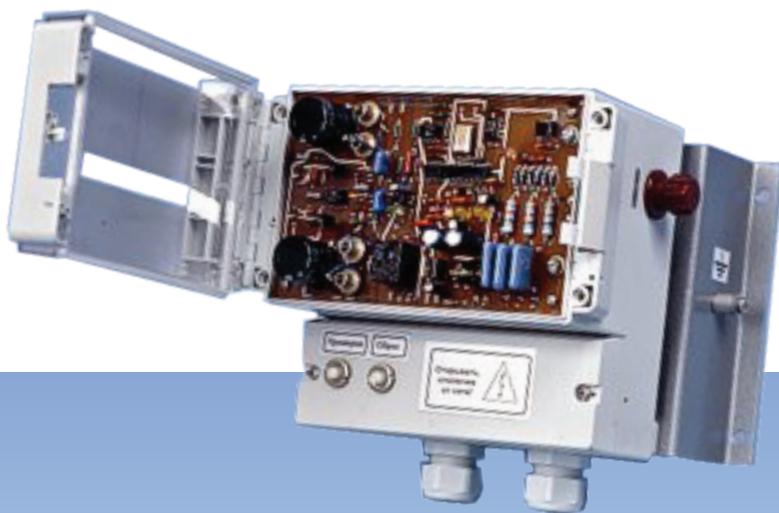


В.А. Медведев



# КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт энергетики и электротехники  
Кафедра «Промышленная электроника»

В.А. Медведев

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Учебное пособие

Тольятти  
Издательство ТГУ  
2013

УДК 621.314.573  
ББК 32.852  
М42

Рецензенты:

канд. техн. наук, руководитель отдела закупок оборудования и услуг  
ООО «Джейко Раша» *Д.А. Яковлев*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного университета  
*В.П. Певчев.*

**М42** Медведев, В.А. Конструирование и технология производства электронных устройств : учеб. пособие / В.А. Медведев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 70 с. : обл.

В учебном пособии рассмотрены факторы, определяющие конструкцию и надежность электронных устройств; особенности конструирования несущих конструкций, приборных корпусов, блоков, шкафов, средств отображения информации, печатных плат, микросборок; технология изготовления печатных плат, сборки электронных устройств, монтажа электрических объемных, контактных и оптоволоконных соединений.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки магистра 210100.68 «Электроника и наноэлектроника» (магистерская программа «Электронные приборы и устройства»), при изучении ими дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы».

УДК 621.314.573  
ББК 32.852

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет», 2013

## Введение

Электронные устройства являются основой различных видов полупроводниковых преобразователей, систем автоматизации и управления, контрольно-измерительной аппаратуры, информационных и телекоммуникационных систем. Принципиальных отличий в конструктивной реализации электронных устройств различного назначения не существует, поэтому вопросы их конструирования можно рассматривать без привязки к каким-либо областям техники.

Процесс проектирования электронных устройств включает ряд последовательных этапов, одним из которых является разработка конструкции. Конструкцией электронного устройства называется пространственно ориентированная совокупность его элементов, между которыми существуют электрические, механические, магнитные, оптические и другие связи, реализованные в соответствии с принципом работы устройства. В процессе конструирования на основе технического задания, принципиальных электрических схем и другой информации разрабатываются сборочные чертежи отдельных узлов и изделия в целом, чертежи деталей, спецификации и другие технические и рабочие документы, необходимые для изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Конструкция электронного устройства во многом определяет надежность, удобство в эксплуатации, ремонтнопригодность и себестоимость изделия.

Вопросы конструирования во многом связаны с вопросами технологии изготовления изделия. Одним из основных требований к любой конструкции является ее технологичность, то есть приспособленность к достижению минимальных затрат при изготовлении для заданных показателей качества, объема выпуска и условий конкретного производства.

# Глава 1. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (ЭА)

## 1.1. Требования и факторы, влияющие на конструкцию

На любое проектное решение всегда накладывается значительное количество требований и факторов, которые переплетаются между собой и иногда даже противоречат друг другу. Поэтому при анализе возможных вариантов технической реализации ЭА приходится, как правило, искать компромисс, при котором улучшение одних характеристик не приводит к существенному ухудшению других. Не все требования равнозначны, поэтому нужно ясно представлять, какие свойства являются приоритетными, а какие второстепенными.

Все требования к ЭА можно разделить на 4 группы: специальные, эксплуатационные, конструкторско-технологические, экономические.

**I. Специальные требования.** Они описывают область применения, функциональное назначение и иные специфические характеристики ЭА и, в основном, удовлетворяются на более ранних этапах системотехнического и схематического проектирования. Однако ряд требований, связанных с условиями эксплуатации ЭА, приходится обеспечивать и на этапе конструирования. Особенность специальных требований в том, то они содержат набор характеристик, используемых для узкого класса технических средств: для источников питания – это выходное напряжение, мощность нагрузки, коэффициент стабилизации, коэффициент пульсаций; для усилителей – коэффициент усиления, полоса пропускания, коэффициент искажений, уровень шумов и т. д. Перечень и значения таких характеристик и методы их проверки обычно приводятся в стандартах на аппаратуру данного класса.

**II. Эксплуатационные требования.** Эти требования относятся к удобству использования ЭА по назначению, надежности, безопасности и экономичности. Их можно сформулировать следующим образом.

1. Техническое изделие должно быть простым и эргономичным в использовании. Эргономические требования разделяют на следующие группы:

- 1) антропометрические – соответствие форме, размерам и распределению массы тела человека;
- 2) физиологические – соответствие силовым, скоростным, энергетическим возможностям человека и его органам чувств;
- 3) психологические – соответствие возможностям человека воспринимать и перерабатывать информацию и формировать сигналы управления;

4) гигиенические – освещенность, температура, влажность и другие факторы, характеризующие комфортность работы оператора.

2. Изделие должно иметь заданный уровень надежности в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного влияния внешних факторов.

3. Случайное неправильное обращение с изделием не должно выводить его из строя. Если какое-либо неправильное действие по отношению к изделию возможно, то рано или поздно такая ошибка обслуживающего персонала случится. Примерные защитные меры следующие: защита ЭА от коротких замыканий на выходе; исключение неправильного подключения кабелей путем применения для различных цепей не стыкующихся друг с другом типов электрических соединителей; поясняющие надписи и другая маркировка на корпусе ЭА; защита от неправильной полярности питающего напряжения.

4. Для ремонтпригодной ЭА должна быть обеспечена удобная сборка и разборка, легкий доступ к узлам, требующим периодического технического обслуживания.

5. Изделие должно быть безопасным в обращении. Необходимо предусмотреть меры, исключающие либо сводящие к минимуму возможность несчастных случаев.

6. Изделие должно быть экологически безопасным.

7. Изделие должно иметь минимальные эксплуатационные расходы, связанные с энергопотреблением, охлаждением, заменой быстроизнашивающихся частей, пополнением расходных материалов.

**III. Конструктивно-технологические требования.** Эти требования относятся к ускорению процесса проектирования и повышению технологичности конструкции ЭА.

1. Изделие должно иметь максимально простую конструкцию, при которой обеспечиваются заданные технические характеристики.

2. Масса и габаритные размеры изделия должны быть минимальными, что снижает расходы на материалы, изготовление, упаковку, транспортирование, хранение.

3. Следует выбирать материалы, обеспечивающие оптимальное сочетание физических и механических свойств, коррозионной стойкости, технологичности при обработке.

4. Целесообразно использовать модульный (блочный) принцип построения ЭА.

5. Необходимо обеспечивать взаимозаменяемость однотипных узлов и деталей ЭА.

6. Следует сокращать номенклатуру применяемых материалов и деталей.

7. Целесообразно использовать в новых разработках детали и узлы от ранее выпускаемых изделий (конструктивная преемственность).

8. Максимально использовать готовые стандартизованные и нормализованные изделия. Хороший эффект дает применение готовых корпусов и несущих конструкций.

9. Обеспечить максимальную технологичность сборочных и электромонтажных работ, минимальное количество подгоночных и регулировочных операций.

10. При разработке обязательно учитывать имеющиеся в распоряжении технологическое оборудование и объем выпуска изделия.

**IV. Экономические требования.** Одним из важных критериев эффективности нового технического решения являются затраты на его реализацию, под которыми понимаются не только финансовые расходы, но и время разработки, количество привлекаемых исполнителей, организационные ресурсы.

В организационном плане для сокращения сроков работ целесообразно поручать сторонним организациям, имеющим соответствующий опыт, разработку отдельных частей сложного оборудования. Не следует применять компоненты со значительно более высокими характеристиками, чем это необходимо. Необходимо помнить, что в стоимость изделия входят затраты на подготовку производства: разработку технологий, проектирование и изготовление технологической оснастки, приобретение недостающего оборудования, обучение персонала. Поэтому подготовка производства изделий с высокой конструктивной преемственностью будет дешевле и потребует меньших сроков.

В каждом конкретном случае экономическая оптимальность решения зависит от многих факторов, среди которых одним из важнейших является объем выпуска изделия.

Экономическая сторона не всегда играет главную роль. Например, в военной технике, системах жизнеобеспечения и других видах специальной аппаратуры при решении противоречия «цена — качество» приоритет отдается достижению максимальной надежности и эксплуатационной эффективности изделия.

## 1.2. Стандартизация в конструировании

В проектной деятельности очень велика роль различных нормативных документов, которыми разработчик обязан руководствоваться. Среди них особая роль отводится стандартам. Стандарты устанавливают нормы, правила, требования, термины, качественные



### 1.3. Виды, обозначение и комплектность конструкторских документов

Каждый конструкторский документ имеет обозначение, которое строится по следующей схеме:

АБВД.ХХХХХХ.ХХХ ХХ,

где первые четыре буквы – код организации-разработчика; далее шесть цифр – код классификационной характеристики изделия по классификатору ЕСКД; далее три цифры – регистрационный номер изделия; далее после пробела код документа.

Двух и более документов с одинаковыми обозначениями быть не может. Виды конструкторских документов указаны в таблицах.

Таблица 1.1

*Виды конструкторских документов*

Код документа	Наименование документа	Определение
–	Чертеж детали	Документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля
СБ	Сборочный чертеж	Документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам также относят чертежи, по которым выполняют гидромонтаж и пневмомонтаж
ВО	Чертеж общего вида	Документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия
ТЧ	Теоретический чертеж	Документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей
ГЧ	Габаритный чертеж	Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами
МЭ	Электромонтажный чертеж	Документ, содержащий данные, необходимые для выполнения электрического монтажа изделия

Код документа	Наименование документа	Определение
МЧ	Монтажный чертеж	Документ, содержащий контурное (упрощенное) изображение изделия, а также данные, необходимые для его установки (монтажа) на месте применения. К монтажным чертежам также относят чертежи фундаментов, специально разрабатываемых для установки изделия
УЧ	Упаковочный чертеж	Документ, содержащий данные, необходимые для выполнения упаковывания изделия
По ГОСТ 2.701	Схемы	Документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними
–	Спецификация	Документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта
ВС	Ведомость спецификаций	Документ, содержащий перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости
ВД	Ведомость ссылочных документов	Документ, содержащий перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия
ВП	Ведомость покупных изделий	Документ, содержащий перечень покупных изделий, примененных в разрабатываемом изделии
ВИ	Ведомость разрешения применения покупных изделий	Документ, содержащий перечень покупных изделий, разрешенных к применению в соответствии с ГОСТ 2.124
ДП	Ведомость держателей подлинников	Документ, содержащий перечень предприятий (организаций), на которых хранят подлинники документов, разработанных и (или) примененных для данного изделия

Код документа	Наименование документа	Определение
ПТ	Ведомость технического предложения	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в техническое предложение
ЭП	Ведомость эскизного проекта	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в эскизный проект
ТП	Ведомость технического проекта	Документ, содержащий перечень документов, вошедших в технический проект
ПЗ	Пояснительная записка	Документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений
ТУ	Технические условия	Документ, содержащий требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах
ПМ	Программа и методика испытаний	Документ, содержащий технические данные, подлежащие проверке при испытаниях изделия, а также порядок и методы их контроля
ТБ	Таблица	Документ, содержащий в зависимости от его назначения соответствующие данные, сведенные в таблицу
РР	Расчет	Документ, содержащий расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность и др.
И...	Инструкция	Документ, содержащий указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, контроле, приемке и т. п.)
Д...	Документы прочие	Конструкторские документы, не вошедшие в настоящий список

Код документа	Наименование документа	Определение
По ГОСТ 2.601	Документы эксплуатационные	Документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации
По ГОСТ 2.602	Документы ремонтные	Документы, содержащие данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях

Схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, подразделяют на виды, обозначаемые буквами (ГОСТ 2.701):

- электрические – Э;
- гидравлические – Г;
- пневматические – П;
- газовые (кроме пневматических) – Х;
- кинематические – К;
- вакуумные – В;
- оптические – Л;
- энергетические – Р;
- деления – Е;
- комбинированные – С.

В зависимости от основного назначения схемы подразделяют на типы, приведенные в табл. 1.2.

Таблица 1.2

*Виды схем*

Код схемы	Тип схемы	Определение
1	Структурная	Схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Схемы структурные разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием

Код схемы	Тип схемы	Определение
2	Функциональная	Схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Схематически функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте
3	Принципиальная	Схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия. Схематически принципиальными пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте. Они служат основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений и чертежей
4	Соединений	Схема, показывающая соединения составных частей изделия и определяющая провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т. п.). Схематически соединений пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии, а также для осуществления присоединений и при контроле, эксплуатации и ремонте изделий
5	Подключения	Схема, показывающая внешние подключения изделия. Схематически подключения пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключений изделий и при их эксплуатации

Код схемы	Тип схемы	Определение
6	Общая	Схема, определяющая составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации. Схемами общими пользуются при ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации. Схему общую на сборочную единицу допускается разрабатывать при необходимости
7	Расположения	Схема, определяющая относительное расположение составных частей изделия, а при необходимости, также жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т. п. Схемами расположения пользуются при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации и ремонте изделий
0	Объединенная	Схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или нескольких типов, выпущенных на одно изделие

Наименование и код схем определяют их видом и типом. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Например, схема электрическая структурная – Э1; схема электрическая принципиальная – Э3; схема электрогидропневмокинематическая – С3; схема электрическая соединений и подключения – ЭО.

Виды эксплуатационных документов по ГОСТ 2.601 (с сокращениями) указаны в табл. 1.3.

Таблица 1.3

*Виды эксплуатационных документов*

Код документа	Вид документа	Определение
РЭ	Руководство по эксплуатации	Документ, содержащий сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках изделия и его составных частей, указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации изделия и оценок его технического состояния при определении необходимости отправки его в ремонт, а также сведения по утилизации изделия и его составных частей

Код документа	Вид документа	Определение
ФО	Формуляр	Документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик изделия, сведения, отражающие техническое состояние данного изделия, сведения о сертификации и утилизации изделия, а также сведения, которые вносят в период его эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, ремонт и другие данные)
ПС	Паспорт	Документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик изделия, а также сведения о сертификации и утилизации изделия
ЗИ	Ведомость комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП)	Документ, содержащий номенклатуру, назначение, количество и места укладки запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов, расходуемых за срок службы изделия
ВЭ	Ведомость эксплуатационных документов	Документ, устанавливающий комплект эксплуатационных документов и места укладки документов, поставляемых с изделием или отдельно от него

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

Наименования конструкторских документов в зависимости от способа их выполнения и характера использования приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

*Наименование конструкторских документов*

Наименование документа	Определение
Оригиналы	Документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников

Наименование документа	Определение
Подлинники	Документы, оформленные подлинными установленными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий. Допускается в качестве подлинника использовать оригинал, репрографическую копию или экземпляр документа, изданного типографским способом, завизированные подлинными подписями лиц, разработавших данный документ и ответственных за нормоконтроль
Дубликаты	Копии подлинников, обеспечивающие идентичность воспроизведения подлинника, выполненные на любом материале, позволяющем снятие с них копий
Копии	Документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником (дубликатом) и предназначенные для непосредственного использования при разработке, в производстве, эксплуатации и ремонте изделий

#### 1.4. Условия эксплуатации электронной аппаратуры

Надежное функционирование ЭА в значительной степени связано с условиями ее эксплуатации, которые могут меняться в широких пределах. Эти условия определяются сочетанием ряда внешних воздействующих факторов (ВВФ).

ВВФ называются явления, 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.

ВВФ разделяются на классы.

1. Климатические: тепло и холод; относительная влажность воздуха; атмосферные осадки, роса и обледенение; пыль и песок; атмосферное давление; солнечная радиация; ветер; морской туман; коррозионные вещества в окружающей среде.

2. Механические: вибрация; механический удар; шум; механическое давление; качка, крен, дифферент; сейсмическое воздействие и т. д.

3. Биологические: бактерии; плесневелые грибы; термиты; организмы, вызывающие обрастание тел в воде, и др.

4. Термические: тепловой удар; разогрев ионизирующим излучением, электрическим полем, ультразвуком, аэродинамической струей.

5. Радиационные.

6. ВВФ специальных сред: органические и неорганические масла, смазки, растворители; различные виды топлива; рабочие растворы и др.

7. ВВФ электромагнитных полей.

Перечень и характеристики ВВФ, учитываемых при проектировании, устанавливаются в стандартах на конкретные виды аппаратуры в зависимости от предполагаемого региона эксплуатации и места установки изделия.

Примеры исполнения изделий ГСП на устойчивость приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

*Классификация изделий по устойчивости и прочности к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха*

Группа исполнения	Диапазон температуры окружающего воздуха, °С		Верхнее значение относительной влажности, %	Место размещения при эксплуатации
	нижнее значение	верхнее значение		
V1	+10	+35	75 при 30° С и более низких температурах без конденсации влаги	Обогреваемые и/или охлаждаемые помещения без непосредственного воздействия солнечных лучей, осадков, ветра, песка и пыли, отсутствие или незначительное воздействие конденсации
V2	+5	+40		
V3	+5	+40	95 при 30° С и более низких температурах без конденсации влаги	
V4	+5	+50	80 при 35° С и более низких температурах без конденсации влаги	
C1	-25	+55	100 при 30° С и более низких температурах с конденсацией влаги	Помещения с нерегулируемыми климатическими условиями и (или) навесы. Изделия могут быть влажными в результате конденсации, вызванной резкими изменениями температуры или в результате воздействия заносимых ветром осадков и капающей воды
C2	-40	+70	95 при 35° С и более низких температурах без конденсации влаги	
C3	-10	+50		
C4	-30	+50		

Группа исполнения	Диапазон температуры окружающего воздуха, °С		Верхнее значение относительной влажности, %	Место размещения при эксплуатации
	нижнее значение	верхнее значение		
Д1	-25	+70	100 при 40° С и более низких температурах с конденсацией влаги	Открытое пространство. Изделия подвергаются воздействию атмосферных факторов (непосредственный нагрев солнечными лучами, ветер, дождь, снег, град, обледенение). Могут появляться резкие изменения температуры, изделия могут быть влажными в результате конденсации, воздействия осадков, брызг, утечек
Д2	-50	+85, +100, +125, +155, +200		
Д3	-50, -60, -65	+50	95 при 35° С и более низких температурах без конденсации влаги	

ГОСТ 15150–69 устанавливает способы исполнения машин, приборов и других технических изделий для различных климатических районов, а также категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. В зависимости от предполагаемого района эксплуатации изделия могут иметь следующие климатические исполнения:

У, ТУ – для районов с умеренным климатом;

ХЛ – для районов с холодным климатом;

УХЛ – для районов с умеренным и холодным климатом;

ТВ – для районов с влажным тропическим климатом;

ТС – для районов с сухим тропическим климатом;

Т – для районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом;

О – для всех районов суши, кроме Антарктиды (общеклиматическое исполнение);

М – для районов с умеренно-холодным морским климатом;

ТМ – для районов с тропическим морским климатом;

ОМ – для районов как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов с неограниченным районом плавания;

В – для всех районов суши и моря, кроме Антарктиды (всеклиматическое исполнение).

В стандарте приводится географическая карта, на которой обозначены упомянутые климатические районы. Для каждого климатического исполнения возможны различные категории размещения изделий (табл. 1.6). Например, исполнение УХЛ1 означает, что изделие предназначено для районов с умеренно холодным климатом и может эксплуатироваться на открытом воздухе. Характеристики климатических факторов выбираются по исполнению и категории размещения изделия.

Таблица 1.6

*Категории размещения изделий на объекте эксплуатации  
по ГОСТ 15150–69*

Угруппенные категории размещения	Дополнительные категории размещения
1. Для эксплуатации на открытом воздухе	1.1. Для работы и эксплуатационного хранения в помещениях категории 4 и для кратковременной работы в других условиях, в том числе и на открытом воздухе
2. Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе. Отсутствует прямое воздействие солнечного излучения и атмосферных осадков	2.1. Для встроенных элементов изделий категории размещения 1; 1.1; 2 при условии отсутствия на них конденсации влаги
3. Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без кондиционирования	3.1. В нерегулярно отапливаемых помещениях
4. Для эксплуатации в помещениях с искусственным климатом	4.1. В помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом 4.2. В отапливаемых помещениях
5. Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (шахтах, подвалах, трюмах, в которых возможно длительное наличие воды)	5.1. Для встроенных элементов изделий категории размещения 5 при условии отсутствия на них конденсации влаги

Изделия ГСП должны быть устойчивыми и прочными к воздействию атмосферного давления в диапазонах:

- 84–106,7 кПа (высота до 1000 м над уровнем моря) – исполнение P1;
- 66–106,7 кПа (высота до 3000 м над уровнем моря) – исполнение P2.

Защита изделий ГСП от проникновения внутрь пыли и воды, а также твердых тел обеспечивается с помощью оболочек. Степень защиты оболочки корпуса электротехнических изделий регламентируется ГОСТ 14254–96 (МЭК 529) и обозначается буквами IP и следующими за ними двумя цифрами, например IP54. Первая цифра обозначает степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим или движущимся частям внутри корпуса, а также степень защиты изделия от проникновения внутрь твердых тел и пыли, вторая цифра – степень защиты изделия от попадания внутрь воды (табл. 1.7).

Изделия ГСП должны быть устойчивыми и прочными к воздействию синусоидальных вибраций, а при необходимости и ударов. Параметры вибраций для наиболее распространенных групп исполнений приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.7

*Степень защиты корпуса по ГОСТ 14254–96 (МЭК 529)*

Степень защиты	Защита от твердых тел	Защита от воды
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например рук, и от проникновения твердых тел диаметром более 50 мм	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от проникновения внутрь корпуса пальцев, предметов длиной более 80 мм и твердых тел диаметром более 12 мм	Капли воды, падающие на оболочку под углом до 15° от вертикали, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
3	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки, твердых тел и т. п. диаметром или толщиной более 2,5 мм	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел диаметром более 1,0 мм	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие

Степень защиты	Защита от твердых тел	Защита от воды
5	Проникновение внутрь корпуса пыли не предотвращено полностью, однако количество проникающей пыли не может нарушить работу изделия	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Проникновение пыли предотвращено полностью	Сильная струя воды (100 л/мин при давлении 100 кПа) или волны воды не должны вызывать попадание в оболочку воды в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Не предусмотрено	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду на глубину примерно 15 см, при примерном равенстве температуры оболочки и воды, в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Не предусмотрено	Изделие пригодно для длительного погружения в воду при условиях, устанавливаемых изготовителем

Таблица 1.8

*Исполнения изделий ГСП  
по устойчивости и прочности к воздействию вибраций*

Группа исполнения	Частота, Гц	Амплитуда		Размещение
		смещения для частоты ниже частоты перехода, мм	ускорения для частоты выше частоты перехода, м/с <sup>2</sup>	
11	5–35	0,35	—	Места, защищенные от существенных вибраций. Могут появляться вибрации только низкой частоты
12		0,75	—	
L3	(5–25)*	(0,1)*	—	

Группа исполнения	Частота, Гц	Амплитуда		Размещение
		смещения для частоты ниже частоты перехода, мм	ускорения для частоты выше частоты перехода, м/с <sup>2</sup>	
N1	10–55	0,15	–	Места, подверженные вибрации от работающих механизмов. Типовое размещение на промышленных объектах
N2		0,35	–	
VI	10–150	0,075	9,8	Места на промышленных объектах при условии, что существует вибрация с частотой, превышающей 55 Гц
V2		0,15	19,6	
V3		0,35	49,0	

*Примечание:* \* – по требованию потребителя.

### 1.5. Методы поиска конструктивных решений

В процессе проектирования инженеру постоянно приходится сталкиваться с поиском вариантов технической реализации разработанного устройства или системы. Возникающие при этом задачи можно разделить на обычные и творческие.

Для обычных задач существуют четкие исходные данные и постановка задачи, апробированные методики поиска решений:

- разработка схемы типового электронного узла;
- расчет параметров схемы по существующей методике;
- разработка печатной платы и пр.

Для творческих задач, как правило, отсутствует постановка задачи, неизвестны пути решения и конечный результат:

- разработка необычной схемы компоновки устройства;
- создание новых схмотехнических решений электронных узлов;
- разработка новых способов измерения физических величин и др.

Обычно творческие задачи решаются методом проб и ошибок. Это длительный и трудоемкий процесс, заключающийся в переборе и анализе большого количества вариантов. Поэтому многие исследователи предпринимали попытки обобщения и систематизации опыта удачливых изобретателей с целью нахождения более результативных методов поиска, чем метод проб и ошибок. В настоящее время существуют десятки методов, позволяющих ускорить нахождение нужного решения. Среди них наиболее известны следующие:

- мозговой штурм (мозговая атака);
- эвристические приемы;
- контрольные вопросы;
- морфологический анализ;
- синектика;
- функционально-стоимостный анализ;
- алгоритм решения изобретательских задач;
- комплексный поиск решений технических проблем.

Начальным этапом поиска технического решения является постановка задачи, при которой следует четко сформулировать, что в конечном итоге нужно получить и что мешает получению желаемого результата.

#### *Метод мозговой атаки (МА)*

Метод МА основывается на многократной активизации мыслительного процесса при коллективном обсуждении проблемы. Основоположником современного метода МА считается А. Осборн, предложивший для устранения психологических препятствий, вызванных боязнью критики, разделить во времени процессы генерирования идей и их критической оценки. При этом последующая критическая оценка может проводиться не участниками МА, а другими специалистами. Метод МА не требует специальной подготовки и позволяет решать практически любые задачи в сфере человеческой деятельности.

В состав творческой группы помимо узких специалистов должны входить специалисты смежных областей, которые обеспечат комплексное и всестороннее рассмотрение задачи (конструкторы, технологи, экономисты, снабженцы). Иногда бывает полезным участие посторонних людей, не имеющих образования в рассматриваемой области, которые могут предложить неожиданные решения. Приглашать на сеанс МА желательно за 2–3 дня с изложением сути задачи, чтобы участники могли настроиться.

При проведении МА следует высказать максимальное число идей, в том числе, казалось бы, заведомо абсурдных или глупых. Плохие идеи – это катализатор хороших идей, озарения или фантазии. Во время МА абсолютно запрещена критика идей, что способствует

продуктивному мышлению. Продолжительность МА рекомендуется до 30 минут.

После сеанса МА проводится коллективное редактирование списка высказанных идей для детальной проработки, причем последующий критический анализ может проводиться и другой группой людей – «экспертов». В группу «генераторов идей» подбирают, как правило, людей с бурной фантазией, склонных к абстрагированию, а в качестве «экспертов» лучше работают люди с аналитическим, критическим складом ума.

Для сложных задач рекомендуется двукратное проведение МА по одному и тому же вопросу с интервалом от нескольких часов до 2–3 дней.

#### *Метод эвристических приемов*

Эвристические приемы (ЭП) – это краткие указания того, какие преобразования в данной технической системе можно привести для получения нового решения при достижении поставленной цели.

Обобщенный опыт многих изобретателей был положен в основу составления межотраслевого фонда эвристических приемов. Этот фонд насчитывает около 180 приемов, разделенных на 12 групп, имеющих следующие наименования: преобразование формы, преобразование структуры, преобразование во времени, преобразование материала и вещества, использование профилактических мер, использование резервов и др. Межотраслевой фонд эвристических приемов имеет универсальный характер, поэтому ЭП имеют обобщенное описание. После описания ЭП даются примеры его использования.

#### Примеры формулировки ЭП:

- изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве – горизонтальное положение на вертикальное или наоборот и т. д.;
- приблизить рабочие органы объекта к месту выполнения ими своих функций без передвижения объекта;
- изменить физические свойства материала, например, его агрегатное состояние.

При формулировке задачи выявляют главный недостаток или главное противоречие в развитии прототипа, которое необходимо устранить. Исходя из этой информации, просматривают список к ЭП и отбирают наиболее подходящие для преобразования прототипа приемы, с помощью которых получают ряд улучшенных технологических решений. Эти решения опять принимают в качестве прототипа и т. д.

*Пример.* Найти улучшение технического решения коммутационной кнопки, монтируемой на панели блоков, пультов управления и т. д.

Прототип – кнопка (рис. 1.1), имеющая подвижный замыкающий контакт, совершающий возвратно-поступательное движение, и два неподвижных контакта. Разомкнутое состояние обеспечивает возвратная пружина.

Недостаток – возможность проникновения пыли и грязи внутрь кнопки через кольцевой зазор ее подвижной части.

В фонде ЭП выбираем для просмотра группы: преобразование структуры (2); преобразование движения и силы (5); преобразование материала и вещества (6).

В этих группах отбираем следующие приемы:

- заменить связи (способ или средства соединения) между элементами, жесткую связь сделать гибкой и наоборот (2.5);
- заменить механическую схему электрической, тепловой, оптической или электронной (2.7);
- использовать магнитные силы (5.13);
- заменить жесткую часть элементами из материала, допускающего изменение формы при эксплуатации, вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие блоки и пленки; инверсия приема (6.6).

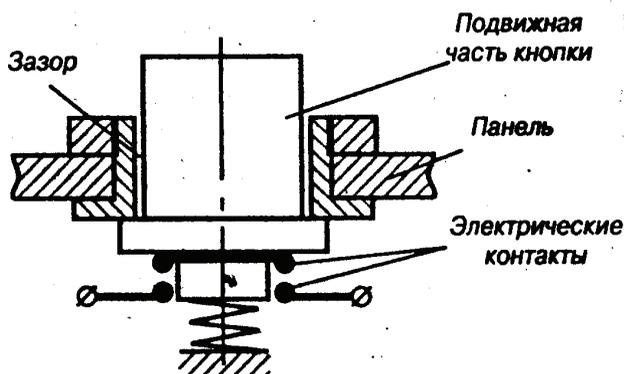


Рис. 1.1

Используя приемы 2.5, 6.6, помещаем электрические контакты внутрь герметичной оболочки из упругой диэлектрической пленки, способной приобретать первоначальную форму после деформации. Данное техническое решение реализовано в гибких пленочных клавиатурах, наклеиваемых на лицевую панель (рис. 1.2,а).

Руководствуясь приемом 5.13, получаем схему с постоянным магнитом (рис. 1.2,б), воздействующим через панель из немагнитного

материала на установленный внутри аппаратуры герконовый контакт (геркон). Такой контакт может быть установлен и с наружной стороны панели, ближе к магниту.

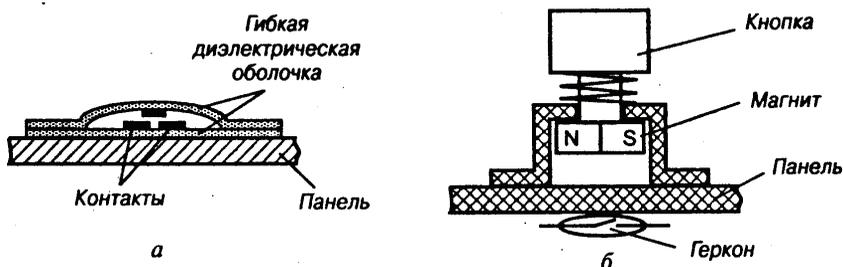


Рис. 1.2

Используя прием 2.7, приходим к получающим все более широкое распространение сенсорным экранам, работа которых основана на различных физических принципах: резистивном, емкостном, использовании инфракрасного излучения, поверхностных акустических волн и др.

#### *Метод контрольных вопросов*

Метод контрольных вопросов по своей сути близок к методу эвристических приемов и применяется для психологической активизации творческого процесса. Цель его — с помощью наводящих вопросов, списки которых предлагались различными авторами с 20-х годов XX века, подвести к решению задачи. Изобретатель отвечает на вопросы, содержащиеся в списке, и в связи с этим рассматривает свою задачу. Метод может применяться либо в форме монолога изобретателя, обращенного к самому себе, либо диалога, например, в виде вопросов, задаваемых руководителем мозгового штурма членам группы генераторов идей.

Широко распространены универсальные вопросники, разработанные А. Осборном, Э. Раудзенном, Т. Эйлоартом и другими. За рубежом чаще используется вопросник, разработанный А. Осборном, который содержит 9 групп вопросов:

1. Какое новое применение технического объекта можно предложить?
2. Возможно ли решение задачи путем приспособления, упрощения, сокращения?
3. Какие модификации технического объекта возможны?
4. Что можно в техническом объекте увеличить?
5. Что можно в техническом объекте уменьшить?

6. Что можно в техническом объекте заменить?
7. Что можно в техническом объекте преобразовать?
8. Что можно в техническом объекте перевернуть наоборот?
9. Какие новые комбинации элементов технического объекта возможны?

В каждой из перечисленных групп приводится список дополнительных вопросов, конкретизирующих вопрос, вынесенный в название группы. Например, для второй группы дополнительные вопросы сформулированы следующим образом:

- Что напоминает вам данный технический объект?
- Вызывает ли аналогия новую идею?
- Имеются ли в прошлом аналогичные проблемные ситуации, которые можно использовать?
- Что можно скопировать?

## 1.6. Надежность электронной аппаратуры (ЭА)

*Надежность* – это свойство изделия выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации при сохранении значения основных параметров в заданных пределах.

Вся ЭА может находиться в работоспособном или неработоспособном состоянии. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называют *отказом*. Повреждения, не связанные с прекращением функционирования (например, вмятина в корпусе), отказом не считаются.

*По характеру возникновения* отказы разделяют на внезапные и постепенные. Внезапные отказы проявляются в виде скачкообразного изменения параметров ЭА в результате выхода из строя элементов (пробой полупроводникового прибора или конденсатора, механическое разрушение детали). Постепенные отказы вызываются медленным изменением свойств элементов (потеря емкости электролитического конденсатора, высыхание смазки трущихся частей).

*По характеру возникновения* отказы делят на устойчивые и самоустраняющиеся. Устойчивый отказ исчезнет только после ремонта. Самоустраняющиеся отказы исчезают сами по себе и проявляются в виде перемежающегося отказа (например, плохой контакт) или сбоя.

*Сбой* – это однократно возникающий самоустраняющийся отказ. Сбои могут быть вызваны помехами, несинхронной работой отдельных узлов, ошибкой в программном обеспечении и т. д.

*По внешним проявлениям* отказы разделяют на явные (обнаруживаются при внешнем осмотре) и неявные (обнаруживаются специальными методами контроля).

В зависимости от возможности устранения отказов электронные устройства делят на восстанавливаемые и невосстанавливаемые. Восстанавливаемым называется устройство, для которого при возникновении отказа нормативно-технической документацией предусматривается восстановление работоспособного состояния.

Надежность является комплексным понятием и включает такие составляющие, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость.

### Показатели безотказности

*Безотказность* — свойство ЭА непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени при некоторой наработке. Для количественной оценки безотказности используют такие параметры как вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ.

*Вероятность безотказной работы* — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ устройства не возникнет.

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (1.1)$$

где  $P(t)$  — вероятность безотказной работы;  $Q(t)$  — функция распределения безотказной работы, представляющая вероятность появления отказа устройства в течение времени  $t$ .

$P(t)$  — монотонно убывает  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,  $Q(t)$  — монотонно возрастает.

Для экспериментального определения показатели надежности испытаниям подвергают достаточную большую партию однотипных изделий. Для  $P(t)$  используется следующая статическая оценка:

$$P^x(t) = N_x / N_0,$$

где  $N_0$  — число изделий, поставленных на испытания;  $N_x$  — число изделий, оставшихся исправными в момент  $t_x$ .

Значение вероятности безотказной работы определяют по формуле

$$F(t_x) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N_x}{N_0}. \quad (1.2)$$

*Интенсивность отказов* — условная плотность вероятности возникновения отказа устройства, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Интенсивность отказа показывает, какая часть изделий в среднем выходит из строя за 1 час работы. Например, если  $\lambda = 10^{-5}$ , то за час работы из строя выйдет  $10^{-5}$  изделий, за 1000 часов —  $10^{-2}$  изделий и т. д.

*Средняя наработка на отказ  $T$*  — математическое ожидание наработки на отказ

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt, \quad (1.3)$$

при  $\lambda = \text{const}$ ,  $T = 1/\lambda$ .

### Показатели ремонтпригодности

Большинство электронных устройств относятся к восстанавливаемым. Они характеризуются следующими комплексными показателями ремонтпригодности.

*Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния устройства после отказа

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_i, \quad (1.4)$$

где  $\tau_i$  – время, затраченное на восстановление при  $i$ -м отказе;  $m$  – общее число восстановлений.

*Коэффициент готовности* – вероятность того, что устройство окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение устройства по назначению не планируется:

$$K_{\text{г}} = \frac{T}{T + T_{\text{в}}}, \quad (1.5)$$

где  $T$  – средняя наработка на отказ;  $T_{\text{в}}$  – среднее время восстановления.

### Показатели долговечности и сохраняемости

Для характеристик долговечности и сохраняемости используют следующие понятия.

*Ресурс* – наработка объекта от определенного момента времени до наступления предельного состояния.

*Срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации изделия от определенного момента времени до наступления предельного состояния.

*Срок сохраняемости* – продолжительность хранения изделия, в течение которой сохраняются установленные показатели качества.

*Средний ресурс* – математическое ожидание ресурса для различных экземпляров данного типа изделия.

*Назначенный ресурс* – суммарная наработка изделия, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от состояния.

*Гамма-процентный срок службы* – срок службы, в течение которого изделие не достигает предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ .

*Средний срок службы* – математическое ожидание срока службы.

*Гамма-процентный срок сохраняемости* – продолжительность хранения, в течение которой у изделия сохраняются установленные показатели с заданной вероятностью  $\gamma$ .

*Средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости для различных экземпляров данного типа изделия.

## Виды структурного регулирования

Одним из основных средств обеспечения заданного уровня надежности ЭА при недостаточно надежных элементах является резервирование. Структурное резервирование заключается в том, что в состав изделия вводят дополнительные устройства или отдельные узлы, предназначенные для быстрой замены (автоматически или вручную) аналогичных им элементов основного оборудования. Резервирование широко используется в радио и телевещательной аппаратуре, авиационной, военной и космической технике, системах аварийной сигнализации и жизнеобеспечения.

Степень аппаратной избыточности характеризуется кратностью резерва. *Кратность резерва* – это отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими основных элементов, выраженное несокращаемой дробью. Резервирование с кратностью резерва один к одному называется дублированным.

Резервирование может быть общим и раздельным. В первом случае резервируется все устройство целиком, во втором – его отдельные элементы или группы элементов.

По схеме включения элементов различают постоянное резервирование, мажоритарное резервирование, резервирование-замещение с целой кратностью, скользящее резервирование.

*Постоянное резервирование* – это резервирование, при котором используется нагруженный резерв, и при отказе любого элемента в резервированной группе выполнение устройством требуемых функций обеспечивается оставшимися элементами без переключения (рис. 1.3).

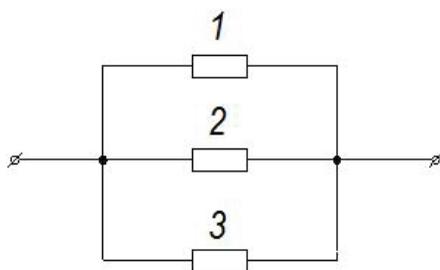


Рис. 1.3

Устройство содержит  $n$  однотипных элементов, которые включаются в работу одновременно. Деление этих элементов на основной и резервные достаточно условно, поскольку режим работы всех элементов может быть одинаков. Отказавшие элементы не восстанавливаются,

поэтому устройство работоспособно до тех пор, пока исправен хотя бы один элемент.

Вероятность безотказной работы резервированного устройства:

$$P_p(t) = 1 - [1 - P(t)]^n. \quad (1.6)$$

Средняя наработка до отказа резервированного устройства:

$$T \left[ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right] = \frac{1}{\lambda} \left[ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right]. \quad (1.7)$$

Постоянное резервирование является единственно возможным в устройствах, где недопустим даже кратковременный перерыв в функционировании. Возможности постоянного резервирования невелики и иллюстрируются табл. 1.9.

Таблица 1.9

*Зависимость надежности от числа параллельных элементов*

Число элементов, $n$	$P_p(4000)$	$T_p$ , час
1 (без резервирования)	0,67	$10^4$
2	0,891	$1,5 \times 10^4$
3	0,964	$1,83 \times 10^4$
4	0,988	$2,08 \times 10^4$

*Мажоритарное резервирование.* Оно является частным случаем постоянного резервирования и применяется для отделения истинной информации от ложной, поступающей от отказавших элементов (рис. 1.4).

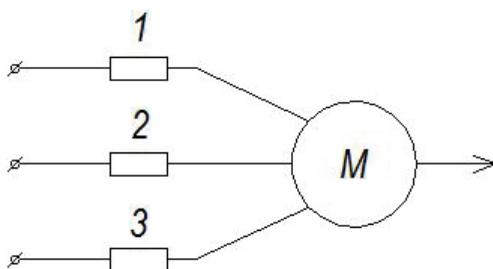


Рис. 1.4

При мажоритарном резервировании вместо одного используют три идентичных элемента, которые подключаются к мажоритарному органу  $M$ . Если все элементы исправны, то на вход  $M$  поступают три одинаковых сигнала, и такой же сигнал присутствует на выходе  $M$ .

Если один из трех резервированных элементов отказал, то на вход  $M$  поступают два одинаковых истинных сигнала и один ложный. Сигнал на выходе  $M$  будет того же вида, что и большинство одинаковых входных сигналов. Подобное построение схемы основывается на том, что вероятность одновременного отказа двух элементов из трех мала. Число элементов в резервируемой группе может быть более трех, но оно должно быть нечетным.

Мажоритарное резервирование дает повышение надежности только при применении элементов с вероятностью безотказной работы одного элемента  $P_0(t) > 0,5$ .

*Резервирование-замещение с целой кратностью* – это резервирование, при котором функции основного элемента после его отказа передаются резервному (рис. 1.5).

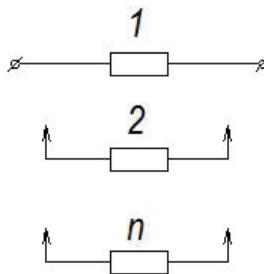


Рис. 1.5

Переключение на резервный элемент может осуществляться как автоматически, так и вручную. Резервные элементы могут находиться в нагруженном или ненагруженном резерве. В первом случае резервные элементы имеют такую же, как у основных элементов, интенсивность отказа. Перевод резервных элементов в облегченный режим работы, вплоть до режима хранения, позволяет снизить интенсивность их отказа примерно в сто раз. Однако при этом может увеличиться время включения резерва. При предположении, что отказать могут только основные элементы, средняя наработка на отказ резервированного устройства

$$T_p = \frac{n}{\lambda} = nT. \quad (1.8)$$

Вероятность безотказной работы резервированного устройства

$$P_p(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(t\lambda)^i}{i!} e^{-t\lambda}. \quad (1.9)$$

*Скольльзящее резервирование.* Оно является разновидностью резервирования с замещением (резервирование с дробной кратностью) и применяется для устройств и систем, содержащих несколько однотипных элементов (рис. 1.6).

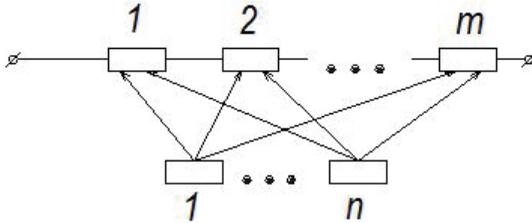


Рис. 1.6

Основным преимуществом скольльзящего резервирования является сокращение числа резервных элементов вплоть до одного.

Устройство состоит из « $m$ » основных и « $n$ » резервных однотипных элементов, причем  $m > n$ . При отказе одного из основных на его место подключается любой из резервных. Резервные элементы могут находиться в нагруженном или ненагруженном состоянии.

Средняя наработка до отказа устройства со скольльзящим резервированием

$$T_p = \frac{n+1}{m\lambda} = \frac{n+1}{m} T. \quad (1.10)$$

Вероятность безотказной работы

$$P_p(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(m\lambda t)^i}{i!} e^{-m\lambda t}. \quad (1.11)$$

В зависимости от режима работы резервных элементов различают нагруженный, облегченный и ненагруженный резерв. В первом случае резервные элементы находятся в том же режиме, что и основной, и имеют такую же интенсивность отказов.

При облегченном режиме резервные элементы нагружены меньше остальных и интенсивность отказов в период пребывания в резерве ниже, чем в период их использования вместо основных.

При ненагруженном резерве резервные элементы находятся в выключенном состоянии и  $\lambda = 0$ .

Резервирование, при котором работоспособность любого элемента устройства, основного или резервного, в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в процессе эксплуатации, называется резервированием с восстановлением. В противном случае имеет место

резервирование без восстановления. При резервировании с восстановлением отказы не накапливаются, а устраняются по мере их появления, что увеличивает надежность устройства при той же кратности резерва.

Выигрыш в повышении надежности увеличивается при переходе от резервирования устройства в целом (рис. 1.7,а) к резервированию его отдельных частей (рис. 1.7,б), причем теоретически более выгодно поэлементное резервирование.

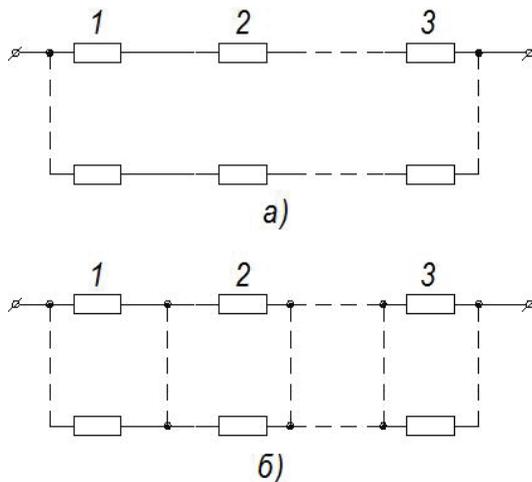


Рис. 1.7

Вероятность отказа устройства с отдельным резервированием будет в  $m^{n-1}$  раз реже, чем при общем резервировании. На практике возможности в этом отношении весьма ограничены, поскольку с повышением числа резервируемых элементов резко возрастает сложность как основной аппаратуры, так и средств диагностики и переключателей. Поэтому определение количества резервируемых узлов является задачей оптимизации.

### **Обеспечение надежности на этапе проектирования**

Надежность ЭА обеспечивается на этапах проектирования, производства и эксплуатации. Этап проектирования имеет наибольшее значение, поскольку именно в этот период закладывается основа для качественного изготовления аппаратуры и минимизации влияния условий эксплуатации на ее функциональную надежность. В большинстве случаев заданные показатели надежности удастся обеспечить использованием следующих приемов.

1. При выборе элементной базы следует ориентироваться на компоненты, у которых интенсивность отказов в заданных условиях эксплуатации минимальна. Например, интенсивность отказов интегральных микросхем в пластмассовых корпусах при прочих равных условиях в три раза выше, чем у аналогичных микросхем в корпусах из металла и керамики. Поэтому для жестких условий эксплуатации микросхемы в пластмассовых корпусах желательнее не использовать.

2. Интенсивность отказов компонентов зависит от степени их сложности. Зависимость эта не слишком сильная: при увеличении числа элементов микросхемы на порядки, ее интенсивность отказов возрастает в разы. Поэтому, как правило, замена совокупности дискретных компонентов микросхемой, выполняющей ту же функцию, увеличивает надежность.

3. Интенсивность отказа элементов существенно зависит от режимов их электрической нагрузки. Под коэффициентом  $K_{\text{н}}$  понимается отношение рабочего значения электрического параметра к его предельно допустимому (номинальному) значению, установленному нормативно-технической документацией. Для каждого типа элементов при оценке интенсивности электрической нагрузки существуют свои определяющие параметры, в частности:

- для интегральных микросхем – напряжение питания;
- для диодов, стабилитронов, транзисторов, тиристоров – рассеиваемая мощность (ток) и рабочее напряжение;
- для конденсаторов – рабочее напряжение;
- для трансформаторов – мощность;
- для дросселей – ток обмоток.

В любом случае значения  $K_{\text{н}}$  по всем параметрам, характеризующим предельно допустимые режимы эксплуатации элемента, не должны превышать 0,8.

4. Необходимо учитывать зависимость надежности элементов от напряжения питания.

5. Интенсивность отказов сильно зависит от температуры корпуса элементов. Например:

– интенсивность отказов интегральных микросхем и полупроводниковых приборов при температуре  $60^{\circ}\text{C}$  вдвое меньше, чем при  $90^{\circ}\text{C}$ ;

– оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы с допускаемым диапазоном температур от  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  имеют следующие данные по надежности, при температуре от  $-40$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  минимальная наработка 15000 часов, при температуре от  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  – 10000 часов, при температуре эксплуатации от  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  – 1000 часов.

6. Следует всячески снижать интенсивность внешних механических воздействий на устройство: вибрации, ударов, ускорений. На этапе конструирования такая задача решается применением амортизаторов, повышением прочности и жесткости конструкции, дополнительным креплением элементов к печатным платам, заливкой электронных узлов компаундами и т. д.

7. Должно быть уделено должное внимание защите аппаратуры от воды, пыли, агрессивных веществ, ионизирующих излучений и других внешних воздействий.

8. При необходимости использовать структурное резервирование.

9. В процессе разработки следует ориентироваться на прогрессивные технологии и современные предприятия по выпуску ЭА.

10. Важно обеспечить быстрое восстановление работоспособности устройства при отказе.

### Расчет надежности электронной аппаратуры

Большинство электронных устройств автоматики, систем управления, вычислительной техники являются нерезервированными восстанавливаемыми объектами, предназначенными для работы в закрытых помещениях. Поэтому рассмотрим методику расчета оценки надежности аппаратуры этого класса. При расчете эксплуатационной надежности элементов электронных устройств используется следующая математическая модель:

$$\lambda_3 = \lambda_6 K_p \prod_{j=1}^n K_j, \quad (1.12)$$

где  $\lambda_3$  – эксплуатационная интенсивность отказа элемента;  $\lambda_6$  – исходная (базовая) интенсивность отказа элемента при номинальной электрической нагрузке ( $K_n = 1$ ) и температуре окружающей среды  $25^\circ \text{C}$ ;  $K_p$  – коэффициент режима, учитывающий изменение  $\lambda_6$  в процессе эксплуатации от электрической нагрузки и температуры окружающей среды;  $K_j$  – коэффициенты, учитывающие изменение эксплуатационной интенсивности отказов от различных факторов;  $n$  – число учитываемых факторов.

Данные по интенсивности отказов различных элементов электронной аппаратуры в типовых усредненных условиях эксплуатации приведены в табл. 1.10.

Интенсивность отказов устройства в целом

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_{3i} m_i, \quad (1.13)$$

где  $\lambda_{3i}$  – интенсивность отказов элементов  $i$ -й группы в соответствии с табл. 1.10;  $m_i$  – число элементов в  $i$ -й группе;  $n$  – число групп элементов.

Средняя наработка на отказ

$$T = \frac{1}{\Lambda}. \quad (1.14)$$

Таблица 1.10

*Интенсивности отказов элементов  
в типовых усредненных условиях эксплуатации*

Вид элемента	Интенсивность отказов $\lambda$ , * $10^{-7}$ , 1/ч
Интегральные микросхемы (ИМС):	0,19
– цифровые ИМС малой и средней степени интеграции микропроцессоры, микропроцессорные комплекты, программируемые логические матрицы	1,40
– ИМС памяти, аналоговые ИМС с числом элементов не более 100 (операционные усилители, стабилизаторы напряжения и др.)	0,40
– аналоговые ИМС с числом элементов 100–1000	0,80
Транзисторы биполярные и полевые	0,17
Тиристоры и симисторы	0,22
Оптодиристоры	0,80
Диоды выпрямительные	0,10
Диоды импульсные	0,04
Диодные сборки	0,016
Стабилитроны	0,0076
Оптопары (оптроны)	0,12
Светодиоды	0,08
Индикаторы вакуумные люминесцентные цифровые и буквенно-цифровые	7,00
Индикаторы жидкокристаллические	8,80
Индикаторы полупроводниковые цифровые и буквенно-цифровые	0,40
Индикаторы полупроводниковые шкальные	0,23
Фотодиоды	2,00
Фототранзисторы	1,50
Фоторезисторы	18,00
Конденсаторы:	
– керамические	0,02
– оксидно-электролитические алюминиевые	0,26
– объемно-пористые танталовые	0,19
– оксидно-полупроводниковые	0,17
– полистирольные	0,06

Продолжение табл. 1.10

Вид элемента	Интенсивность отказов $\lambda_{3,2} \cdot 10^{-7}, 1/\text{ч}$
– поликарбонатные и полипропиленовые	0,014
– фторопластовые	0,0036
– полиэтилентерефталатные низковольтные	0,06
– полиэтилентерефталатные высоковольтные	1,00
Резисторы:	
– постоянные пленочные	0,19
– постоянные проволочные нагрузочные	0,054
– постоянные проволочные прецизионные	0,017
– переменные металлоокисные и керметные	0,05
– переменные композиционные пленочные	0,018
– переменные проволочные	0,038
Терморезисторы	0,60
Наборы резисторов	0,044
Резонаторы кварцевые	0,20
Элементы пьезоэлектрические	0,40
Реле электромагнитные:	
– средней мощности	0,13
– слаботочные низкочастотные	0,083
– герконовые	0,003
Реле контроля и защиты	6,10
Контакты	0,29
Автоматы защиты и выключатели автоматические	3,00
Переключатели движковые	0,70
Микропереключатели	0,17
Тумблеры	1,30
Кнопки и кнопочные переключатели	0,50
Электрические соединители:	
– низкочастотные цилиндрические для объемного монтажа	0,012
– низкочастотные прямоугольные для объемного монтажа	0,024
– низкочастотные прямоугольные для печатного монтажа	0,026
– радиочастотные	0,06

Вид элемента	Интенсивность отказов $\lambda, *10^{-7}, 1/ч$
Трансформаторы:	
– силовые, в том числе статических преобразователей	0,12
– импульсные	0,01
– согласования	0,02
Дроссели	0,01
Электродвигатели постоянного тока:	
– с возбуждением от постоянных магнитов	4,00
– с электромагнитным возбуждением без стабилизации частоты вращения	1,10
– с электромагнитным возбуждением со стабилизацией частоты вращения	15,00

Время восстановления устройства при отказе включает время поиска неисправного элемента, время его замены или ремонта и время проверки ремонтоспособного состояния аппаратуры. Время ожидания специалиста-ремонтника, время получения запасных частей и другие подобные факторы не учитываются. Среднее время восстановления  $T_{в}$  конкретного устройства зависит от его ремонтпригодности и выбирается из ряда 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 36, 48 часов. Меньшие цифры соответствуют ЭА с высокой ремонтпригодностью, большие ЭА с низкой ремонтпригодностью. Признаками высокой ремонтпригодности являются модульная конструкция, быстрая сборка и разборка, доступный монтаж, встроенные системы диагностики и др.

Стационарное значение коэффициента готовности рассчитывается по формуле (1.5).

### 1.7. Задачи и методы компоновки электронной аппаратуры

Компоновка – это процесс создания из отдельных составных частей функционально законченной конструкции устройства или системы. В процессе компоновки осуществляется решение следующих вопросов:

- 1) выбор корпуса устройства с учетом заданных условий эксплуатации;
- 2) обеспечение устойчивости к дестабилизирующим воздействиям (влаге, пыли, вибрации, электромагнитным помехам и др.);

- 3) выбор типов и мест расположения элементов индикации с учетом эксплуатационных и эргономических требований;
- 4) распределение электронных компонентов по печатным платам;
- 5) обеспечение охлаждения блока в целом и его отдельных элементов;
- 6) компоновка составных частей внутри корпуса;
- 7) разработка печатного и объемного электрического монтажа.

Перед началом компоновки должно быть принято решение о том, в каком корпусе будет выполнено устройство: унифицированном или специально разработанном. Корпус собственной конструкции часто способен наиболее полно удовлетворить требованиям технического задания, но для него необходимо разработать рабочую документацию и технологию изготовления, приобретать материалы и комплектующие изделия. В связи с этим при проектировании ЭА широко используют базовые несущие конструкции, достоинством которых является то, что они производятся специализированными предприятиями по отработанной технологии. Это гарантирует высокое качество и относительно невысокую стоимость изделий.

При конструировании электронных систем в зависимости от варианта расположения отдельных блоков используют централизованную или децентрализованную схемы компоновки.

При централизованной схеме блоки системы устанавливаются в одном месте (в шкафу, стойке, пульте, стеллаже и т. д.). Преимущество этой схемы: минимальная длина соединительных кабелей, возможность использования общего источника питания, удобство обслуживания. Недостатки: усложнение естественного охлаждения аппаратуры, ухудшение электромагнитной совместимости блоков.

Причинами децентрализации могут являться:

- отсутствие свободного пространства для установки всей аппаратуры в одном месте, что характерно для бортового оборудования подвижных объектов (самолетов, кораблей, автомобилей и др.);
- необходимость устранения влияния длинных линий на результаты измерения в системах сбора и обработки информации, что заставляет устанавливать электронные преобразователи рядом с датчиками.

При конструировании ЭА применяются моносхемный, схемно-узловой и функционально-узловой принципы компоновки. При *моносхемном принципе* все электронные компоненты размещаются на одной печатной плате.

*Схемно-узловой принцип* используется при дроблении на части сложных функциональных узлов и предполагает расположение на печатной плате части функциональной схемы, имеющей четко выраженные входные и выходные характеристики.

При *функционально-узловом принципе* отдельные электронные модули являются функционально и конструктивно законченными.

Проведение компоновки осуществляют тремя основными методами, взаимно дополняющими друг друга: аналитическим, модельным и графическим.

*Аналитическая* компоновка проводится на начальном этапе конструирования для решения следующих задач: выбор типоразмера унифицированного корпуса; оценка линейных размеров и объема устройства; обоснование необходимого количества и размеров печатных плат и др.

*Графическая* компоновка производится путем вычерчивания на бумаге или экране компьютера и проработки различных вариантов их расположения. Результатом графической компоновки является чертеж устройства.

*Модельная* компоновка позволяет найти оптимальный вариант расположения составных частей устройства. При модельной компоновке используют плоские или объемные модели элементов, выполненные в одинаковом масштабе. Плоские модели называются аппликациями и выполняются из плотной бумаги или других подходящих материалов. При пространственной компоновке используют модели из картона, пенопласта, пластилина и т. д. Компоновка с использованием вместе моделей реальных элементов называется натурной.

## Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ И ШКАФОВ

### 2.1. Базовые несущие конструкции (БНК)

*Несущая конструкция* – это элемент или совокупность конструктивных элементов, предназначенных для размещения составных частей изделия, обеспечения их конструктивной целостности и неизменности в соответствии с конструкторской документацией. Несущая конструкция, имеющая стандартизованные размеры и конструктивное решение, обязательное при конструировании электронных средств различного функционального назначения, называется базовой несущей конструкцией. БНК имеют три структурных уровня:

1) БНК1 (ячейка, кассета и др.) – для размещения электронных модулей нулевого уровня, изделий электронной техники и электротехнических изделий;

2) БНК2 (блок, вставной блок, блочный каркас и др.) – для размещения электронных средств, выполненных на основе БНК1;

3) БНК3 (шкаф, стойка, стеллаж, рама, пульт оператора, приборный стол и др.) – для размещения электронных средств, выполненных на основе БНК2 и (или) БНК1.

Вся сложная ЭА в настоящее время строится на основе каких-либо БНК, что обусловлено преимуществами принципов модульности, стандартизации и унификации, реализованных в этих изделиях. Применение БНК дает выигрыш при конструировании, изготовлении и эксплуатации ЭА. Применение БНК гарантирует обеспечение конструктивной совместимости электронных модулей и их взаимозаменяемости по габаритным и монтажным размерам. При использовании БНК конструирование ЭА сводится к разработке новых печатных плат внутри, межблочного монтажа и передних панелей.

Существуют *каркасные и бескаркасные* БНК. У первых стойкость, прочность, жесткость и устойчивость конструкции обеспечивается наличием каркаса, у вторых – совокупностью составляющих БНК элементов.

Системы построения БНК основываются на унификации координатных, установочных и присоединительных размеров изделий, при этом определяющим фактором является шаг модульной сетки. В зависимости от выбранных единиц измерений различают метрические (размеры в мм) и дюймовые (размеры в дюймах) конструктивы. Для БНК по ГОСТ Р 51623–2000 в качестве базовых приняты размерные

модули 2,5 мм (для координатных размеров БНК1 и присоединительных БНК всех уровней) и 25 мм (для координатных размеров БНК2 и БНК3).

Международный 19-дюймовый стандарт МЭК 297 (1 дюйм – 25,4 мм). Вертикальные посадочные размеры данных БНК кратны 1,75 дюйма (44,45 мм), горизонтальные – 0,2 дюйма (5,08 мм). Ширина передней панели блочного каркаса – 19 дюймов. Новый метрический стандарт МЭК 917 предназначен для совмещения метрических и дюймовых конструктивов. Размеры модулей в МЭК 917 построены по координатной сетке с шагом 25 мм по всем трем осям. Для более легких элементов конструкции используется координатная сетка с шагом 2,5 мм, а иногда 0,5 мм.

*БНК1 (первого уровня)* предназначены для создания электрических модулей первого уровня цифровой и аналоговой ЭА, модулей от НЧ- до СВЧ-диапазона, а также модулей систем вторичного электропитания и управления. Для всех видов модулей применяют типовые электрические соединители, а для модулей СВЧ-диапазона и волоконно-оптические соединители. БНК1 может быть каркасного и бескаркасного типа, иметь защитный экран, радиатор и герметичный корпус. БНК1 устанавливают в конструкции более высокого уровня по направляющим.

*БНК2* предназначены для создания электронных модулей второго уровня и являются конструктивно сборочной единицей, состоящей из боковых рам, соединенных профилями или стяжками, или монолитных конструкций.

Корпус служит для размещения БНК1, электрорадиоизделий и деталей. Характерной особенностью корпуса является наличие лицевой и задней панели, а также фиксирующих элементов. Передняя панель служит для размещения элементов индикации и управления. На задней панели монтируются электрические соединители. БНК1 размещают в корпусе в один или два ряда по высоте. Корпус блока может иметь защитный кожух или входить в состав более крупных изделий.

*БНК3* предназначены для создания электронных модулей третьего уровня. Их конструктивную основу составляют вертикальные и горизонтальные профили, а также междуэтажные перегородки и рамы с направляющими для установки БНК1 и БНК2. К БНК3 относятся стойки, корпуса шкафов, пультов, моноблоков, стеллажи, тумбы, секции, приборные столы и монтажные рамы. Для удобства перемещения БНК3 могут быть снабжены колесами. Обязательными элементами БНК являются ключи и ловители, обеспечивающие соблюдение однозначной установки и взаимной ориентации сочленяемых частей ЭА, а также фиксаторы, предназначенные для удержания сочлененных частей в строго определенном взаимном положении.

## 2.2. Готовые несущие конструкции и корпуса

Ряд фирм предлагает готовые БНК, корпуса и шкафы, которые с минимальными усилиями могут быть приспособлены для многих применений. Готовые конструктивы ведущих производителей обеспечивают надежную защиту оборудования, удобство для разработчика и персонала, а также товарный вид. Стоят они дешевле самодельных аналогов, так как являются продуктом крупносерийного производства. Некоторые типы изделий сертифицированы для эксплуатации в особых условиях: взрывоопасная зона; внешние механические воздействия; электромагнитные помехи.

*Шкафы и стойки* служат для размещения 19-дюймового, метрического и электротехнического оборудования с помощью вертикальных держателей передних панелей, монтажных плат и рельсов. Выпускаются шкафы настенного или напольного исполнения с различной степенью защиты от воздействия окружающей среды. Существуют специальные модификации шкафов для размещения компьютеров и серверов, а также кроссовые шкафы для волоконно-оптических систем. Современные системы несущих конструкций представляют потребителю возможность по мере необходимости приобретать для них дополнительное конструктивно совместимое оборудование. Данный подход соответствует общей тенденции развития средств автоматизации, согласно которой разнообразные устройства и системы могут собираться из относительно небольшого числа готовых стандартизированных конструкций и функционально законченных частей (преобразователей сигналов, управляющих контроллеров, источников питания, терминалов, исполнительных органов, коммутационных элементов и т. д.).

*Блочные каркасы.* Они являются центральной частью евромеханических конструкций, в которые вставляются печатные платы, источники питания, электронные модули. Блочные каркасы устанавливаются в стойки и шкафы. Блочный каркас состоит из двух боковых панелей с монтажными функциями и минимум четырех поперечных несущих монтажных рельсов, к которым крепятся направляющие. Вертикальные размеры блочных каркасов кратны условной единице:  $1U = 44,45$  мм, горизонтальные —  $1НР = 5,08$  мм. Ширина передней панели блочного каркаса равна 19 дюймам (482,6 мм). Для направляющих предусмотрено до 84 посадочных мест с шагом 1НР. Минимальное расстояние между двумя соседними направляющими составляет 3НР. Во встраиваемых системах часто используют блочные каркасы меньшей ширины: 28НР, 42НР или 63НР. Блочные каркасы позволяют установить дополнительные контактные пружины и экраны

электромагнитной защиты. Предусмотрены также различные исполнения верхних, нижних и задних крышек, в том числе с функцией электромагнитной защиты, а также монтажные панели (шасси) для установки в блочном каркасе тяжелых элементов, например трансформаторов.

*Приборные корпуса.* Они предназначены для построения автономных электронных блоков и выпускаются 19-дюймового стандарта. Возможны два варианта крышек приборных корпусов. В первом варианте крышка плотно облегает корпус, сохраняя его габариты. Такой вариант удобен в системах с не напряженным тепловым режимом. Если требуется обеспечение отвода большого количества тепла, используется второй вариант крышек, при котором они крепятся на тот же каркас и образуют сверху и снизу ниши высотой 1/2U. Ниши служат для активизации движения воздушного потока в корпусе при установке его на стол или монтаже в стойку. Такой вариант называется Ratiopac PRO-air, и его наружный габарит всегда на 1U больше высоты внутреннего монтажного пространства. Для корпусов Ratiopac-PRO выпускается ряд дополнительных принадлежностей: ножки для установки корпусов на стол и друг на друга этажеркой; барьеры и фильтры для систем внутренней вентиляции корпусов air-наполнения; декоративные цветные накладки; задние панели с установленными розетками и вентиляторами и др.

*Корпуса блоков.* Для блоков небольшого объема и клеммников выпускают десятки типоразмеров корпусов, изготовленных методом точного литья из нержавеющей стали, алюминиевых сплавов или пластмассы. Корпуса могут иметь различную степень защиты, вплоть до их применения во взрывоопасных зонах. Стальные корпуса обладают высокой прочностью, долговечностью, способностью работать в широком диапазоне температур. Корпуса из алюминиевых сплавов обладают низким удельным весом и хорошей коррозионной стойкостью, что обусловило их широкое применение в авиационной, морской и наземной ЭА. Пластмассы корпуса обладают низкой ценой, диэлектрическими свойствами, хорошими эстетическими и технологическими качествами, более высокой, чем у металлов, стойкостью к воздействию кислот и щелочей. Для не жестких условий эксплуатации пластмассовый корпус может быть лучшим решением.

### 2.3. Конструктивные схемы блоков

Основная часть элементов ЭА располагается на печатных платах. Платы должны быть компактно установлены в корпусе таким образом, чтобы обеспечить доступ к ним для настройки и ремонта. Используют следующие типовые конструктивные схемы, обеспечивающие решение данной задачи.

1. Использование электрических соединителей (разъемов). Достоинство этой компоновки схемы – легкосъемность отдельных функциональных ячеек, а, следовательно, простота сборки, обслуживания и ремонта аппаратуры. Электрический соединитель не допускается использовать в качестве единственного элемента крепления ячейки. Для механического крепления ячейки должны быть предусмотрены специальные конструктивные части: направляющие, прижимные планки и т. д.

Электрические соединители для подключения ячеек монтируются на шасси или кросс-плате. При использовании шасси электрические связи между ячейками выполняются на основе объемного жгутового монтажа либо плоских кабелей. Применение кросс-платы существенно ускоряет сборку, улучшает массогабаритные показатели ЭА, снижает вероятность ошибок при монтаже. На кросс-плате могут быть смонтированы дополнительные компоненты, общие для всего блока. Однако в кросс-плату труднее вносить изменения, поэтому ее целесообразно применять для ЭА с большим объемом выпуска, схема которой не подвергается частым корректировкам.

При техническом обслуживании и ремонте блоков применяются *ремонтные платы*. Ремонтная плата включается между ячейкой и ее электрическим соединителем в качестве переходника. При этом ремонтируемая функциональная ячейка оказывается выдвинутой из блока, что делает возможным свободный доступ к ней. Ремонтная плата содержит вилку и розетку разъема, связанные печатными или объемными проводниками.

В последнее время при конструировании компактной аппаратуры все ощутимей становится диспропорция между развитием интегральных микросхем и методами их объединения в конечную продукцию. В современной ЭА часто удельный объем микроэлектронных компонентов по отношению к объему блока не превышает 15–20%. Остальное место занимают крепежные и монтажные элементы. Более высокая плотность компоновки достигается в следующих двух конструктивных схемах.

2. «Книжная» схема. В ней функциональные ячейки соединяются с каркасом блока с помощью шарниров, благодаря чему они могут поворачиваться подобно страницам книги. В рабочем состоянии ячейки

прижаты к каркасу с помощью винтов. Возможен вариант, когда ячейки цепочкой соединяются друг с другом с помощью шарниров подобно страницам «книжки-раскладушки».

Электрический монтаж между ячейками выполняется, как правило, с помощью печатных шлейфов.

3. *Пакетная конструкция.* В ней ячейки электронного блока укладываются одна на другую и стягиваются винтами. Отдельная ячейка представляет собой металлическую раму, внутри которой закреплена печатная плата с навесными элементами. Ячейки соединяются между собой с помощью магистральных соединителей, расположенных перпендикулярно ячейкам. С целью герметизации блока между рамками устанавливаются резиновые уплотнительные прокладки. Для улучшения охлаждения между платами можно установить металлические листы, отдающие тепло от элементов к корпусу. На верхней крышке могут находиться блок питания, а также органы управления и индикации.

## 2.4. Расположение элементов в конструкции

Основная часть электронных компонентов ЭА располагается на печатных платах. На лицевую панель блока выводятся индикаторы, органы оперативного управления, часто используемые разъемы. На задней и боковых стенках монтируются разъемы для подключения питания и внешних устройств, держатели предохранителей и другие элементы, к которым необходим свободный доступ в процессе монтажа и эксплуатации. Периодически используемые подстроечные резисторы, к которым необходимо обеспечить доступ без вскрытия корпуса блока, выводятся «под шлиц». Подстроечные и регулировочные элементы желательно не выносить с печатной платы. Во-первых, это выгоднее из соображений технологичности сборки и надежности, во-вторых — из-за увеличения длины соединительных проводников снижается помехозащищенность ЭА. Крупногабаритные и тяжелые элементы — трансформаторы, массивные электролитические конденсаторы, мощные резисторы, радиаторы монтируются на шасси прибора. Элементы, выделяющие значительное количество тепла, устанавливаются на металлических стенках корпуса или радиаторах.

Компоновку лицевой панели производят с учетом требований эргономики и технической эстетики. Органы управления располагаются так, чтобы при выполнении типовых манипуляций движения руки оператора при переходе от одного органа к другому носили не хаотичный, а упорядоченный характер (например, слева направо). Если какой-либо орган управления изменяет информацию на индикаторном

устройстве, то его следует располагать в непосредственной близости, чтобы в процессе регулировки было удобно наблюдать за изменением показаний. Увеличению индуцируемого параметра должно соответствовать вращение ручки по часовой стрелке либо ее перемещение слева направо или снизу вверх. У тумблеров положение ручки «вверх», «вправо», «от себя» должно соответствовать состоянию «включено». Если тумблеры и кнопки расположены в ряд, то расстояние между их основными линиями должно быть не менее 19 мм, а при работе в перчатках – не менее 25 мм.

При компоновке больших панелей и пультов управления их элементы располагают в зависимости от частоты использования (рис 2.1): в зоне А располагают наиболее часто применяемые органы управления и индикации; в зонах В и С – используемые менее интенсивно; в зоне D – вспомогательные элементы. Тумблеры и кнопки, случайное переключение которых может привести к аварийной ситуации, располагают в углублении или защищают съемными крышками.

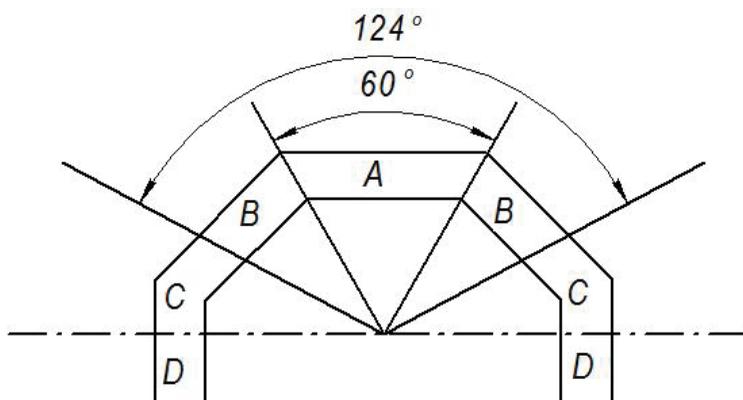


Рис. 2.1

## 2.5. Устройства отображения информации

Применяемые в ЭА устройства отображения информации разделяют на электромеханические и электронные.

*Электромеханические устройства* для отображения цифровой информации могут быть следующих типов:

- с подвижным указателем и неподвижной шкалой;
- с подвижной шкалой и неподвижным указателем.

Шкалы могут быть линейные и нелинейные. Числа на шкале должны располагаться вертикально и, как правило, содержать не более двух цифр. При необходимости указывается общий множитель, например,  $\times 10$ ,  $\times 100$ . Число малых делений между оцифрованными основными делениями не более девяти. Указатель не должен перекрывать цифры на шкале. Размеры шкалы должны выбираться с учетом расстояния до глаз наблюдателя. Например, при расстоянии между делениями в 1 мм произвести отсчет с погрешностью, не превышающей 0,5 деления, можно с расстояния не более 0,5 м.

*Электронные устройства* отображения информации на основе электронных индикаторов позволяют отобразить практически любую текстовую и графическую информацию. Электронные индикаторы могут быть активными и пассивными.

*Активные индикаторы* преобразуют электрическую энергию в световую.

Пассивные индикаторы классифицируют по принципу действия, конструкции информационного поля, виду отображаемой информации.

*По принципу действия:*

- полупроводниковые (светодиодные) индикаторы;
- вакуумные люминесцентные индикаторы;
- жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ);
- электронно-лучевые трубки.

*В зависимости от конструкции информационного поля:*

- единичные индикаторы, состоящие из одного элемента отображения и предназначенные для отображения информации в виде точки, линии или поля;
- сегментные индикаторы, синтезирующие изображение из совокупности дискретных элементов отображения;
- матричные индикаторы, у которых элементы отображения имеют вид точек и сгруппированы по строкам и столбцам, что позволяет отображать информацию производственного характера;
- экраны – матричные индикаторы с большим числом элементов изображения, не имеющие фиксированных знакомест.

*По виду отображаемой информации:*

- шкальные индикаторы;
- цифровые и буквенно-цифровые индикаторы;
- мнемонические индикаторы;
- графические индикаторы.

Пассивные индикаторы при высоких уровнях внешней освещенности имеют максимальный контраст, а при низких уровнях освещенности контраст падает.

Активные индикаторы при низких и умеренных уровнях внешней освещенности имеют максимальный контраст, а при повышении уровня контраст падает. Требуемый контраст изображения в активных индикаторах достигается применением широкополосных (нейтральных), узкополосных и поляризованных светофильтров. Выбор светофильтра зависит от яркости и спектрального состава излучения источника внешней засветки, поэтому оптимального светофильтра не существует. В качестве светофильтра используют стекло и пластмассы. Стекланные светофильтры имеют более совершенные и стабильные оптические характеристики. Пластмассы доступнее, дешевле и технологичнее, но выгорают и растрескиваются при атмосферных воздействиях. Поэтому светофильтры из пластмасс рекомендуется использовать для приборов, эксплуатирующихся только внутри помещений.

## Глава 3. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Электрические компоненты и составные части ЭА должны быть соединены между собой в соответствии с принципиальной схемой. Часть конструкции ЭА, реализующая такие связи, называется *электромонтажем*. Вид электрического монтажа определяется конструкцией электрических проводников и способом подключения этих проводников к соединениям выводов элементов. В современной ЭА объем электронных компонентов соизмерим или даже меньше объема элементов, обеспечивающих электрические соединения.

Наибольшее распространение получили печатный монтаж, монтаж с помощью объемных изолированных проводников и кабелей (объемный монтаж) и эластичные контакты. В связи с широким использованием в ЭА волоконно-оптических компонентов и узлов для передачи оптических сигналов используется оптическое волокно.

### 3.1. Печатные платы (ПП)

*Печатная плата* – материал основания, вырезанный по размеру, содержащий необходимые отверстия и, по меньшей мере, один проводящий рисунок.

*Проводящий рисунок* – рисунок, образованный проводниковым материалом.

*Основание ПП* – элемент конструкции, на поверхности или в объеме которого выполняется проводящий рисунок.

*Печатный проводник ПП* – отдельная токопроводящая полоска или площадка в проводящем рисунке.

*Контактная площадка ПП* – часть проводящего рисунка, используемая для соединения или подсоединения элементов радиоэлектронной аппаратуры.

*Монтажное отверстие ПП* – отверстие, используемое для соединения навесных элементов с ПП, а также для любого электрического подсоединения к проводящему рисунку.

*Металлизированное отверстие ПП* – отверстие в ПП с осажденным на стенках проводниковым материалом.

*Переходное отверстие* – металлизированное отверстие, служащее для электрического соединения проводящих слоев.

*Крепежное отверстие* – отверстие, используемое для крепления ПП на шасси или крепления механических элементов к ПП.

*Навесные элементы* — электронные компоненты, устанавливаемые на ПП и электрически соединяемые проводящим рисунком.

*Печатный узел* — ПП с подсоединенными к ней электрическими и механическими элементами и другими печатными платами с выполненными всеми процессами обработки (пайка, покрытие, маркировка и др.).

Печатные платы бывают односторонние, двусторонние и многослойные. К новым направлениям в развитии печатного монтажа относятся рельефные печатные платы (РПП). Они выполняются на пластинах из нефольгируемых диэлектриков толщиной 0,3–1,5 мм, в том числе гибких. Проводники размещаются в металлизированных углублениях в виде канавок, что позволяет при том же поперечном сечении проводника сделать его более узким. Технология изготовления РПП обеспечивает формирование проводящего рисунка в канавках и переходных отверстиях как единого целого.

ГОСТ 23751–86 устанавливает пять классов точности ПП. Класс точности определяет минимально возможные размеры проводящего рисунка. Печатные платы 1 и 2 классов точности предназначены для несложных устройств с малой плотностью монтажа. Платы 3 класса обычно применяются для микросхем со штыревыми и планарными выводами с шагом не менее 1,25 мм. ПП 4 класса выпускаются на высокоточном оборудовании, но требования к материалам, оборудованию и помещениям ниже, чем для 5 класса. Платы 4 и 5 класса применяются в основном при использовании SMD-элементов с шагом выводов не менее 1,25 мм.

В качестве основания для печатных плат используют фольгированные и нефольгированные листовые диэлектрики: гетинакс, стеклотекстолит, полиамид, фторопласт.

Типичный фольгированный материал для односторонних и двусторонних ПП имеет толщину 1,5 мм при толщине фольги 18, 35 или 50 мкм.

Для компоновки печатной платы формулируются следующие исходные данные:

- форма и размеры ПП, метод её крепления и ориентирования в корпусе устройства;
- типы навесных элементов;
- механическое воздействие на узел в процессе эксплуатации;
- климатические воздействия;
- напряжение и токи в отдельных цепях, определяющие ширину печатных проводников и зазор между элементами проводящего рисунка;
- рекомендации по исключению взаимного влияния узлов устройства;

- мощности, рассеиваемые теплонагруженными элементами схемы, необходимость применения и конструкция радиаторов;
- способы реализации внешних соединений печатного узла: электрический разъем, монтажные провода, винтовые элементы;
- сечение и тип внешних кабелей, жгутов, проводов;
- класс точности ПП.

*Ширина печатного проводника* рассчитывается по формуле

$$t = \frac{I}{jh},$$

где  $I$  – ток в цепи;  $j$  – допустимая плотность тока;  $h$  – толщина печатного проводника.

Часто при выборе ширины печатного проводника пользуются правилом: на 1 А силы тока принимается 1 мм ширины печатного проводника.

*Ширина зазоров* между элементами проводящего рисунка выбирается в зависимости от рабочего напряжения, влажности окружающей среды и атмосферного давления. Практическая рекомендация: без необходимости не следует принимать ширину зазора менее 0,5 мм.

### 3.2. Печатные узлы

Печатный узел является основой электронной аппаратуры не только сегодня, но и на обозримую перспективу.

Согласно традиционной технологии элементы монтируются в отверстия ПП (рис. 3.1, *а, б*).

Попытки уменьшить шаг выводов и размеры корпусов элементов привели к технологии поверхностного монтажа (рис. 3.1, *в*). При этом используются элементы специальной конструкции, так называемые SMD-элементы (чип-элементы), у которых выводы либо отсутствуют, либо имеют такую форму, чтобы их можно было без дополнительной формовки припаивать к контактным площадкам ПП. Применение поверхностного монтажа обеспечивает уменьшение массы и габаритов печатного узла, снижение паразитных индуктивностей и емкостей монтажа, а также стоимости элементов.

Обе эти технологии существуют равноправно и применяются в зависимости от типа навесных элементов, возможностей производства и квалификации персонала, вида электронной аппаратуры, ее назначения, области применения и т. д.

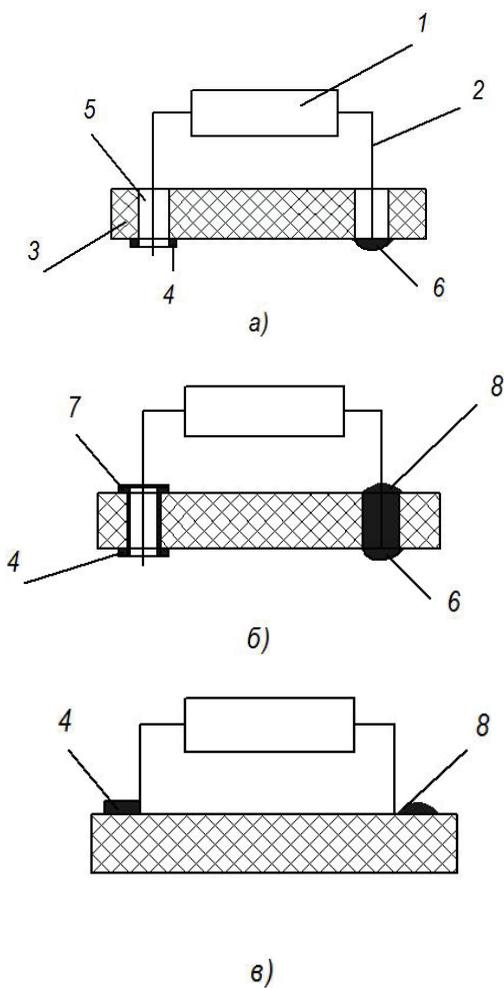


Рис. 3.1

В рис. 3.1 используются следующие обозначения: 1 – навесной элемент; 2 – вывод элемента; 3 – основание ПП; 4 – контактная площадка; 5 – неметаллизированное отверстие; 6 – паяное соединение; 7, 8 – металлизированные отверстия до и после заполнения припоем.

### 3.3. Микросборки

Интегральные микросхемы (ИМС) подразделяются на полупроводниковые и гибридные.

*В полупроводниковых ИМС* все элементы выполнены в объеме или на поверхности полупроводниковой пластинки. Эту пластинку часто называют кристаллом или чипом. Полупроводниковые ИМС могут иметь корпусное и бескорпусное исполнение.

Гибридные ИМС и микросборки по конструкции напоминают миниатюрные печатные узлы. Они имеют диэлектрическую подложку (плату) из керамики, полиамида и других материалов, на которой размещены пассивные элементы, выполненные по пленочной технологии, и навесные бескорпусные и корпусированные компоненты, припаянные к контактным площадкам подложки. Все компоненты помещаются с одной стороны подложки и соединяются печатными проводниками.

*Гибридная микросхема* — это микросборка небольших размеров, помещенная в стандартный корпус ИМС. Микросборки большого размера защищают от окружающей среды путем обволакивания слоем компаунда. Для подключения микросборки на подложке закрепляются жесткие выводы, изготавливаются контактные площадки или печатный электрический соединитель. Микросборки и гибридные ИМС имеют плотность компоновки меньше, а стоимость выше, чем у полупроводниковых ИМС, имеющих большие объемы выпуска. Однако в их состав могут входить навесные компоненты, которые пока не удается получить методами полупроводниковой технологии: трансформаторы, кварцевые резонаторы, конденсаторы и резисторы с широким диапазоном емкостей и сопротивлений. Пассивные элементы микросборок изготавливают по тонкопленочной и толстопленочной технологиям.

*Пленочный резистор* представляет собой полосу из материала с высоким удельным сопротивлением, нанесенную на диэлектрическое основание и снабженную контактными площадками из материала с высокой проводимостью. Тонкопленочная технология предполагает получение резистора методом напыления металла, толстопленочная — путем вжигания в подложку специальной резистивной пасты. В качестве материала тонкопленочных резисторов используют металлы (нихром) и керметы (смесь металла с керамикой). Толстопленочные резисторы формируются на основе палладия, окиси рутения и др. Для изоляции резисторов применяются диэлектрические пасты на основе смеси стекол и ферроэлектрических материалов. Резисторы имеют разброс сопротивлений  $\pm 5\%$  при тонкопленочной и  $\pm 20\%$  при

толсто пленочной технологии. При необходимости более высокой точности используется подгонка путем испарения лучом лазера участков проводящего покрытия.

*Пленочные конденсаторы* представляют собой многослойные структуры из проводящих и диэлектрических пленок. Они могут быть односекционными или многосекционными, содержащими несколько секций, соединенных между собой определенным образом. Чаще всего используются односекционные конденсаторы емкостью до нескольких сотен пикофарад, так как изготовление многосекционных и многослойных структур сильно усложняет технологию производства. Для больших емкостей применяют навесные конденсаторы, припаиваемые к контактным площадкам подложки.

### 3.4. Электрический жгутовой монтаж

Жгутовой монтаж применяется для электрического соединения печатных узлов и функциональных ячеек между собой и с компонентами, установленными на шасси, лицевой и задней панелях блока. *Жгутом* называется конструкция, состоящая из двух и более изолированных проводов, скрепленных в пучок. Для формирования жгутов используют нити из натуральных и синтетических волокон, пластмассовые хомуты, ленты из полимерных пленок. Объединение проводов в компактные жгуты заданных размеров позволяет улучшить повторяемость параметров и внешний вид электрических соединений, уменьшить их объем и повысить технологичность монтажных работ, поскольку жгуты могут изготавливаться отдельно.

Провода цепей, между которыми возможно взаимное влияние, прокладывают в отдельных жгутах. Для снижения взаимного влияния цепей, проходящих в одном жгуте, используют экранированные провода и общие экраны для группы проводов.

Жгуты фиксируются внутри аппаратуры скобами, хомутами, лентами, шнурами, нитками, клеями и компаундами. Для предотвращения механических повреждений проводов жгуты в местах перехода кромки конструкции обматываются электроизоляционным материалом, а в местах прохода сквозь металлические стенки устанавливаются защитные втулки.

Сечение жилы монтажных проводов и кабелей выбирается по току, протекающему в цепи, причем провода меньшего сечения допускают большую плотность тока из-за более интенсивного теплообмена с окружающей средой.

Трудоемкость изготовления жгутов велика и включает многочисленные операции по разделке, облуживанию, раскладке, вязке, маркировке проводов и окончательной проверке жгута в сборе. Эти операции плохо поддаются автоматизации и обычно выполняются вручную с помощью простейших приспособлений, шаблонов, выполняемых в натуральную величину из фанеры, дерева и иных подходящих материалов. Отводы жгута должны иметь запас по длине, обеспечивающий возможность двух повторных зачисток и перепаек проводов при ремонте. Длина проводов должна быть достаточной для подключения их без натяжения.

Для повышения ремонтпригодности аппаратуры провода при жгутовом монтаже маркируются следующим образом:

- применением проводов разного цвета;
- нанесением маркировки на изоляцию проводов с помощью краски;
- указанием маркировки на изоляционных трубках, надеваемых на места пайки проводов;
- установкой маркированных бирок их цветной бумаги, трубки, самоклеющихся пленок, металла.

Несмотря на низкую технологичность, жгутовой монтаж широко применяется в ЭА, что обусловлено следующими его достоинствами:

- в жгуте можно использовать провода различного типа и поперечного сечения, неэкранированные, экранированные, витые пары и т. д.;
- подготовка производства для изготовления жгутов минимальна, а в единичном производстве может вовсе отсутствовать, так как жгуты вяжут по месту;
- в монтаж и конструкторскую документацию при необходимости легко вносить изменения.

### 3.5. Электрические провода и кабели

В ЭА используется широкая номенклатура кабельных изделий – проводов, шнуров и кабелей, общим признаком которых является гибкость.

*Провод* – это кабельное изделие с одной или несколькими изолированными жилами в легкой оболочке.

*Шнур* – провод с изолированными жилами повышенной гибкости, используемый для соединения с подвижными устройствами.

Электрический кабель содержит одну и более гибких изолированных токоведущих жил, заключенных в усиленную оболочку, обеспе-

чивающую эксплуатацию в жестких условиях. Кабели, как правило, используются в качестве внешних линий связи и обеспечивают подвод к ЭА электроэнергии и сигналов.

Электрические провода делятся на монтажные и обмоточные.

*Обмоточные провода* применяются для изготовления обмоток трансформаторов, реле, дросселей и т. д. Наиболее распространены обмоточные провода с высокопрочной эмалевой изоляцией толщиной от 0,005 до 0,05 мм (ПЭВТЛ, ПЭТВ, ПЭТВМ). Меньшее распространение получили обмоточные провода с волокнистой или эмалево-волокнистой изоляцией. Обмотки, выполненные проводами с эмалевой изоляцией, как правило, пропитываются специальными лаками или компаундами.

*Монтажные провода* применяются для объемного электрического монтажа в ЭА и выполняются с однопроволочной или многопроволочной токоведущей жилой. Провода с однопроволочной жилой применяются только для стационарной прокладки. Для замедления окислительных процессов меди и обеспечения быстрой и надежной пайки жилы проводов покрывают оловом или сплавами олова и свинца. В проводах для высокочастотной пайки используют серебро, так как оно наряду с облегчением пайки повышает проводимость поверхностного слоя металла.

Различают провода низкого – до 1000 В и высокого – свыше 1000 В напряжения. Изоляцией проводов низкого напряжения и низкой частоты является поливинилхлоридный пластик толщиной 0,2–0,6 мм. Достоинствами поливинилхлоридной изоляции являются гибкость, водостойкость, негорючесть, возможность окраски, простота нанесения на провод. Недостатки – узкий интервал рабочих температур (от -45 до +78° С), малая электрическая прочность. Для изоляции проводов низкого и высокого напряжения используют полиэтилен ВД. У него более высокие электрические характеристики, легко красится, диапазон рабочих температур от -60 до +80° С. Недостатки полиэтилена ВД – горючесть и сравнительно небольшая термостойкость. Большой термостойкостью обладают провода из кремнийорганической резины (РКГМ, ПРКС и др.). Интервал рабочих температур от -60 до +180° С. У кремнийорганической резины высокие электрические характеристики, но низкая механическая прочность. Изоляцию проводов низкого и высокого напряжения с высокой термостойкостью (до 250° С) изготавливают из фторопласта и его модификаций.

Для электрического соединения узлов микропроцессорных устройств и вычислительной техники широко используют плоские ленточные кабели. По сравнению со жгутами проводов они имеют меньший объем, более высокую гибкость и лучшую воспроизводимость

параметров монтажа из-за упорядоченного расположения отдельных проводников. Распространенные ленточные кабели имеют шаг проводников 2,54; 1,25; 1,0 мм, число проводов до нескольких десятков.

Если требования к габаритным размерам и гибкости монтажного провода особенно высоки, применяются печатные шлейфы. Шлейфы имеют основание из гибкого диэлектрика, на поверхности которого расположены печатные проводники. Сверху на печатные проводники наклеивают защитную диэлектрическую пленку. Концевые участки шлейфа могут иметь контактные площадки с отверстиями или освобожденные печатные проводники.

Для передачи ВЧ- и СВЧ-сигналов применяют линии связи специальных конструкций, коаксиальные кабели, полосковые линии с рассчитанными волновыми сопротивлениями.

### 3.6. Электрические контактные соединения

Электрические контактные соединения делятся на разъемные, разборные и неразборные.

*Неразборное контактное соединение* не может быть разъединено без разрушения. Для создания неразборных контактных соединений при монтаже ЭА применяются пайка, обжимка, проколка, клепка, сварка и термокомпрессия.

*Пайка* осуществляется припоем, вводимым в зазор между соединяемыми деталями. В процессе пайки происходит диффузия расплавленного припоя в поверхностный слой соединяемых деталей, в результате чего образуется надежный электрический контакт. В качестве припоя применяют чистые металлы и сплавы с температурой плавления ниже, чем у соединяемых материалов. Наибольшее распространение получили оловянисто-свинцовые припои ПОС, в которые для получения специальных свойств вводятся легирующие элементы. Характеристики низкотемпературных припоев приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

*Характеристики низкотемпературных припоев*

Марка	Температура плавления, °С	Основное назначение
ПОС 90	183–220	Лужение и пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры
ПОС61	183–190	Лужение и пайка электронных компонентов на печатные платы

Марка	Температура плавления, °С	Основное назначение
ПОС 40	183–238	Пайка точных изделий, жгутов, корпусов, каркасов и др.
ПОС 10	268–299	Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле
ПОС 61 М	183–192	Лужение и пайка электропаяльниками тонких (толщиной менее 0,2 мм) медных проволок, печатных проводников, фольги
ПОСК 50-18	142–145	Пайка компонентов, чувствительных к перегреву, металлизированной керамики
ПОССу 61-0,5	183–189	То же, что и ПОС 61
ПОССу 50-0,5	183–216	Лужение и пайка радиаторных трубок
ПОССу 40-0,5	183–235	Электрический монтаж, пайка радиаторных трубок, жести
ПСр2	225–235	Лужение и пайка точных изделий
ПСр2,5	295–300.	Пайка проводов без предварительного снятия лаковой изоляции
ПОСВи 36-4	150–170	Пайка печатных плат волной припоя
Сплав Розе	9–96	Пайка подстроенных элементов, лужение печатных плат
сплав Вуда	66–70	То же
ПСрОСин	175	Пайка, лужение элементов СВЧ
ПОИ <sub>н</sub> 52	121	Пайка диодов СВЧ на микрополосковые платы
ПОИ <sub>н</sub> 50	117	То же
ПИ <sub>н</sub> ОКФГ	93–94	То же
Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7	217	Бессвинцовый припой для пайки оплавлением (поверхностный монтаж)
Sn96,5/Ag3,5	221	Бессвинцовый припой для пайки волной
Sn99/Cu0,7	227	То же

Получение качественного паяного соединения невозможно без использования флюса. Флюс предохраняет поверхность металла и расплавленного припоя от окисления, растворяет и удаляет уже

имеющиеся окисные пленки, улучшает смачивание металлов припоем, улучшает растекание припоя за счет снижения его поверхностного натяжения. Флюс ускоряет процесс пайки при минимально возможных температурах, что важно при монтаже термически чувствительных элементов ЭА. При электрическом монтаже применяются низкотемпературные флюсы, которые отличаются по степени активности. Флюсы на основе канифоли и полиэфирных связующих смол обладают слабой активностью и применяются для пайки легкопаяемых металлов (неокисленная медь, серебро, золото).

Они не снижают электрического соединения подложки ПП, не вызывают видимой коррозии соединяемых металлов.

Канифольные флюсы, активированные 2–3,5% органических кислот, обладают повышенной активностью и используются при групповой или ручной пайке многослойных ПП. Из-за сильного влияния на электрическое сопротивление необходима тщательная отмывка остатков флюса после пайки. Ещё большей активностью обладают коррозионные флюсы на основе кислот и их солей, применяемые при лужении, восстановлении паяемости элементов после длительного хранения, пайке труднопаяемых металлов (манганина, нихрома, стали и др.).

Остатки таких флюсов обязательно должны быть удалены сразу после пайки. Если этого не сделать, содержащиеся в них активные вещества быстро приводят к коррозии деталей, входящих в паяльное соединение.

При монтаже компонентов на поверхность печатной платы используют паяльные пасты. Они представляют собой суспензию частиц порошка припоя во флюсе с добавлением органических веществ. Паста после нанесения должна сохранять свою форму и положение до момента установки элементов и обладать свойствами клея, предотвращающего сдвиг элементов при транспортировании ПП и оплавлении припоя.

Несмотря на то что пайка является основным методом создания контактных соединений в ЭА, она имеет ряд недостатков:

- происходит значительный нагрев соединяемых деталей, что может привести к их порче, оплавлению изоляции и др.;
- качество соединения при ручной пайке зависит от квалификации исполнителя;
- при пайке выделяются вредные для здоровья газы.

*Метод накрутки* состоит в том, что провод плотно с усилием наматывают на соединительный штырь (терминал), имеющий острые ребра. Ребра штыря вдавливаются в накрученный провод, благодаря чему в месте контакта разрушается окисная пленка и происходит взаимная диффузия материалов штыря и провода. Возникает надежное,

неокисляющееся соединение. Монтаж накруткой пригоден только для одножильного провода, причем зачистка эмалевой и лаковой изоляции провода на участке накрутки необязательна. Применяются штыри квадратного сечения из латуни, бронзы и других сплавов, покрытые золотом, сплавами из олова и свинца, никеля и серебра. Штыри имеют более высокую твердость, чем провод, поэтому на одном и том же месте накрутку можно выполнять многократно (до пяти раз). На одном штыре допускается располагать до трех уровней монтажа. Монтаж и демонтаж соединений производится специальным инструментом, ручным или курковым электрическим. Метод накрутки используется при монтаже электрических соединителей, устанавливаемых на шасси блоков и шкафов. В телекоммуникационных системах монтаж накруткой применяется при расшивке кабелей на монтажные панели.

*Метод обжимки* применяется для соединения кабельных наконечников с монтажными проводами. Освобожденный от изоляции конец многожильного провода вставляется внутрь деформируемой части кабельного наконечника. Затем эта часть обжимается вокруг провода. Кабельные наконечники выполняются различной формы путем штамповки из мягкой луженой электротехнической меди или латуни. Метод обжимки технологичен, но не обеспечивает достаточную надежность контактных соединений, особенно во влажных средах. Поэтому в ответственных случаях после обжатия место контакта жилы пропаивается.

*Метод проколки изоляции* получил широкое распространение при монтаже электрических соединителей, применяемых для подключения телефонных линий и кабелей «витая пара» к телефонным аппаратам, модемам, компьютерам, сетевому коммуникационному оборудованию. В соединителях под проколку изоляции части контактов, обращенные к кабелю, имеют острые кромки. В процессе монтажа соединителя эти острые части прокалывают изоляцию провода и входят в контакт с токоведущей жилой. Такая технология позволяет устанавливать соединители не только на концах, но и в любом другом месте кабеля, что дает возможность подключать к одной шине несколько устройств.

*Разъемные соединения* в ЭА реализуются с помощью электрических соединителей (разъемов). В ЭА используется широкая номенклатура соединителей, которые могут быть классифицированы по диапазону частот (низко и высокочастотные), форме корпуса (цилиндрические и прямоугольные), типу монтажа (для объемного монтажа, печатного монтажа, проколки, накрутки), силе тока через контакт (маломощные и силовые) и другим параметрам. Существуют универсальные и специализированные стандартные интерфейсные соединители (USB, DVI,

DB-xx, Mini-DIN и др.). Большинство соединителей выполнены по типу «вилка-розетка», причем вилка может представлять собой печатные контакты (ламели) на ПП.

Электрические соединители применяются на всех уровнях конструктивной иерархии. На первом уровне используют панельки (розетки соединительные) для установки на печатную плату многовыводных дорогостоящих цифровых микросхем, микропроцессоров, модулей памяти и др. Разновидностью соединителей нижнего уровня иерархии являются также переставляемые переключатели (джамперы), применяемые для изменения коммутации цепей на печатной плате.

Соединители второго уровня коммутации обеспечивают электрическое соединение ячеек между собой. При этом часть соединителя, монтируемая на плате, всегда рассчитана на печатный монтаж. Конструкция ответной части соединителя в зависимости от назначения может иметь следующие варианты:

- под объемный монтаж пайкой или накруткой – если платы устанавливаются на шасси с жгутовым монтажом;
- под печатный монтаж – если используется кросс-плата или непосредственное соединение модулей друг с другом;
- кабельного типа.

Соединители третьего уровня осуществляют коммутацию приборов, блоков, рам и стоек. В авиационной, морской и иной специальной аппаратуре для этой цели обычно применяются приборно-кабельные соединители, в которых блочная часть (вилка или розетка) закрепляется на приборе, а ответная часть – на кабеле. Приборно-кабельные соединители могут иметь прямую или угловую кабельную часть. Существуют кабельные соединители для стыковки кабелей друг с другом.

Соединение вилки с розеткой бывает врубным, резьбовым и байонетным. Врубное соединение осуществляется простым вставлением вилки в розетку с фиксацией сочлененного состояния. Резьбовое соединение выполняется накидной гайкой, стягивающей части приборно-кабельных и кабельных соединителей. Байонетное соединение обеспечивается пазами на одной части соединителя и выступами на другой. При сборке байонетного соединения вилку вставляют в розетку и после попадания выступов в пазы с легким нажатием проворачивают подвижную часть на небольшой угол по часовой стрелке до фиксации выступов в углублениях.

Разборные соединения в промышленной ЭА выполняются с помощью винтовых клеммников, пружинных зажимов, эластичных контактов.

Винтовые клеммники объемного монтажа применяются для подключения к блокам и шкафам внешних кабелей (кроме стандартных интерфейсов). На втором уровне коммутации используются винтовые клеммники, спаиваемые в печатную плату и служащие для подключения внешних объемных проводов.

Пружинные зажимы удобны при объемном монтаже внутри шкафов. Они, как правило, собираются в блоки и обеспечивают надежный электрический контакт даже в условиях внешних климатических воздействий.

Эластичные контакты представляют собой полоску из резины или полимерного материала, имеющую чередующиеся проводящие и диэлектрические участки. Такие контакты удобны для соединения контактных площадок, расположенных друг против друга в параллельных плоскостях. Эластичные контакты могут быть поверхностными или объемными. При сборке контактное соединение стягивается, например, с помощью винтов. Достоинствами эластичных контактов являются простота монтажа, хорошие частотные характеристики (до 3–5 ГГц), повышенная виброустойчивость, возможность многократной сборки и разборки.

### 3.7. Волоконно-оптические цепи

Одной из важнейших сфер применения ЭА является передача информации. К числу новых направлений передачи сигналов относятся волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) и системы с инфракрасным каналом (ИК), в которых вместо электрического тока носителем информации является свет.

При использовании ИК-канала инфракрасное излучение передается непосредственно через атмосферу, что ограничивает рабочую дальность значениями от единиц до десятков метров.

Основными преимуществами ВОСП является широкая полоса пропускания, высокая скорость передачи данных, большая дальность передачи без восстановления информации, нечувствительность к электромагнитным помехам, малый вес и размеры оптических кабелей. Упрощенная схема передачи информации по оптическому кабелю приведена на рис. 3.2.

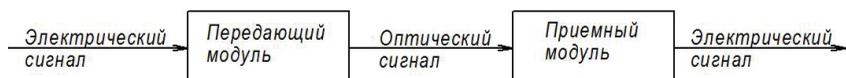


Рис. 3.2

Передающий модуль обеспечивает преобразование электрического сигнала в оптический для его передачи по оптическому кабелю. Приемный модуль осуществляет обратное преобразование сигнала в электрический вид. Для высокоскоростной двухсторонней связи применяются два оптических волокна, каждое из которых предназначено для передачи данных в одном направлении. Передающий и приемный модули поставляются в виде функционально законченных узлов, размером не более спичечного коробка. В состав дискретных передающих модулей входит лазерный излучатель, термоэлектрический охладитель, термистор для контроля температуры, фотодиод обратной связи, встроенный модулятор. Интегральные передающие модули, кроме перечисленного, содержат схему управления лазером, системы стабилизации температуры и мощности излучения, выходы сигнализации неисправности. Дискретные приемные модули содержат фотодиод и интегральный малошумящий усилитель. В состав интегральных приемных модулей дополнительно входят схемы обработки сигнала и сигнализации неисправности. Волоконно-оптические компоненты монтируются извне или интегрируются специализированными предприятиями и используются в составе аппаратуры без доработки, как и другие готовые комплектующие изделия.

Основным элементом оптических кабелей и шнуров является *оптическое волокно (ОВ)*. ОВ имеет сердцевину из легированного кварцевого стекла, по которой распространяется свет, и отражающую оболочку из чистового кварцевого стекла, имеющую более низкий, чем у сердцевины, показатель преломления (рис. 3.3).

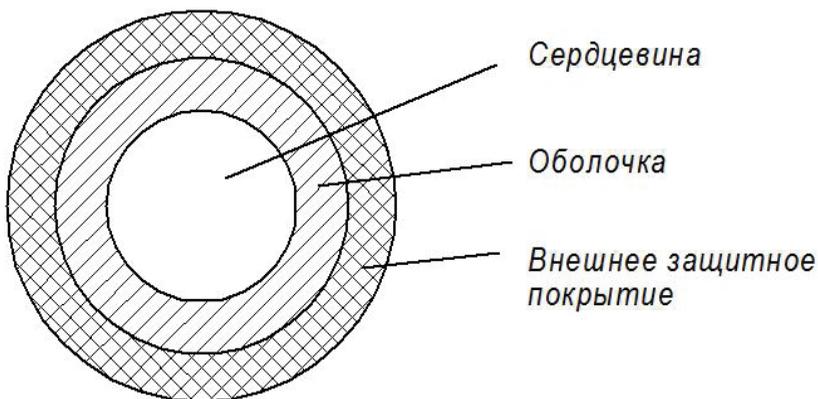


Рис. 3.3

Высокая чистота материала сердцевины позволяет направлять свет по ОВ на большие расстояния без усиления. Поверх оболочки ОВ нанесено покрытие из акрилата, которое повышает механическую прочность волокна и защищает его от влаги и агрессивных химических соединений. ОВ подразделяются на одномодовые (SMF) и многомодовые (MMF).

Одномодовое волокно имеет диаметр сердцевины около 9 мкм и по нему может передаваться только один световой луч (мода). Это устраняет межмодовую дисперсию и позволяет достичь максимальной пропускной способности. Однако одномодовые ОВ требуют применения дорогих лазеров и предъявляют высокие требования к качеству монтажных работ. Поэтому одномодовые ОВ преимущественно используются на магистральных ВОСП.

Многомодовое волокно имеет больший диаметр сердцевины (обычно 50 или 62,5 мкм) и позволяет передавать одновременно много мод. Большой диаметр сердцевины упрощает соединение многомодовых ОВ и позволяет использовать недорогие излучатели, например, светодиоды. Для локальных сетей используют также пластиковое оптическое волокно (POF), позволяющее обеспечить минимальную стоимость волоконно-оптических компонентов и монтажных работ. Затухание сигнала в пластиковых ОВ на 2–3 порядка больше, чем в стеклянных, что ограничивает дальность связи расстояниями в сотни метров. ОВ всегда используются в составе оптических кабелей или шнуров (рис. 3.4).

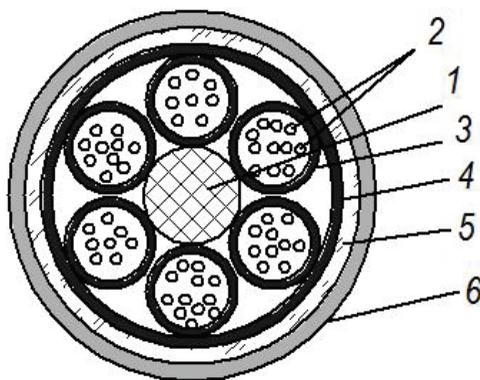


Рис. 3.4

Интегральный силовой элемент 1 воспринимает механические нагрузки, действующие на кабель. Он представляет собой металлический трос или гибкий стержень из пластмассы, работающий на растяжение.

Вокруг центрального силового элемента закручены оптические волокна 2 в защитных трубках 3. Общее число оптических волокон в кабеле от одного до нескольких сотен. Свободное пространство вокруг заполнено пастообразным водоотталкивающим наполнителем на основе минеральных масел. Поясная изоляция 4 представляет собой пластмассовую ленту, стягивающую отдельные оптические модули. Элементы 1–4 образуют сердечник кабеля. Поверх поясной изоляции намотана влагонабухающая лента 5 из полимера с высокой поглощающей способностью. Бронепокров и наружная оболочка 6 защищают кабель от механических повреждений и внешней среды. В качестве бронепокрова используется гофрированная стальная лента или оцинкованная проволока, а наружная оболочка выполняется из полиэтилена или полихлорвинила.

Концы магистрального оптического кабеля вводятся в распределительные устройства – шкафы кроссовые оптические (кроссы). Конструкция такого шкафа позволяет произвести сварное соединение волокон оптического кабеля с пигтейлями – отрезками одножильного оптического кабеля, на одном из концов которого установлен соединитель. ЭА, имеющая оптические входы, соединяется с оптическими портами шкафа при помощи оптических соединительных шнуров. Емкость шкафов может достигать 96 портов. Оптические шнуры представляют собой отрезки одно- или двухволоконного оптокабеля, на обоих концах которого установлены оптические соединители. Для производства оптических шнуров (патч-кордов) используется одномодовый или многомодовый оптокабель с диаметром внешней оболочки 0,9 или 3 мм. Кабель под внешней оболочкой содержит кевларовые нити, повышающие прочность.

При создании волоконно-оптических систем возникает необходимость соединять оптические кабели друг с другом либо подключать их к блокам аппаратуры. Соединения оптических волокон могут быть разъёмными и неразъёмными.

Неразъёмные соединения применяются при наращивании кабелей, подключении магистрального кабеля к внутренней стационарной разводке здания и в других случаях, когда не требуется оперативное изменение конфигурации волоконно-оптической сети. Неразъёмные соединения выполняются сваркой, механическим соединением, клеевым соединением.

*Сварочное соединение* выполняется с помощью специальных сварочных установок мощностью около 50 Вт и массой порядка 10 кг, которые позволяют работать как в помещении, так и в полевых условиях на трассе. В качестве источника тепла используется электрическая дуга, луч лазера или газовое пламя. К недостаткам сварки относят

высокую стоимость сварочной установки, необходимость высокой квалификации монтажника, неудобство выполнения соединения в колодцах кабельной канализации. Средние потери на стыке сварочного соединения не превышают 0,1–0,15 дБ.

Механическое соединение обеспечивается специальными механическими «спайсами», между которыми зажимаются концы соединяемых волокон, зачищенные от защитных оболочек и устанавливаемые вплотную друг к другу так, чтобы непараллельность торцов составляла не более 1–2°. Оставшийся воздушный зазор между торцами волокон заполняется иммерсионной жидкостью с таким же показателем преломления, как и у оптоволокна. Среднее затухание у таких соединителей составляет 0,1 дБ.

*В клеевых соединениях* центрирование оптоволокна осуществляется с помощью прецизионной трубки, V-образной канавки и др. Применяемый клей должен иметь показатель преломления, близкий к показателю преломления оптоволокна.

*Разъемные соединения* реализуются с помощью оптических соединителей (разъемов) и используются для подключения оптических линий к аппаратуре и в других случаях, когда может потребоваться оперативное изменение топологии системы. В настоящее время в мире стандартизовано более 20 типов оптических разъемов. Основными параметрами оптического соединителя являются вносимое затухание и обратное отражение. Для наиболее распространенных типов соединителей среднее вносимое затухание не превышает 0,2 дБ, максимальное – 0,4 дБ.

Под обратным отражением понимается отражение части света от места контакта волокон в соединителе. Отражение возникает из-за разности показателей преломления светопроводящих сред и особенно велико, если торцы оптических волокон разделены воздушным зазором (переход «кварц – воздух – кварц»). Обязательным условием минимизации обратного отражения является наличие физического контакта между сердцевинами оптоволокна в разъемном соединении. Для создания физического контакта используется закругление торцов сердечников соединителей с радиусом кривизны 10–25 мм. При этом оптические волокна соприкасаются только выступающими частями в точке расположения их сердцевин.

## Библиографический список

1. Браун, М. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун. – Киев : МК-Пресс, 2007. – 288 с.
2. Григорьян, С.Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники / С.Г. Григорьян. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 303 с.
3. Конструирование силовых полупроводниковых преобразовательных агрегатов / С.Р. Резинский [и др.]. – М. : Энергия, 1973. – 288 с.
4. Медведев, А.М. Технология производства печатных плат / А.М. Медведев. – М. : Техносфера, 2005. – 360 с.
5. Медведев, В.А. Конструирование полупроводниковых преобразователей : учеб. пособие / В.А. Медведев. – Тольятти : ТГУ, 2005. – 90 с.
6. Славик, И. Конструирование силовых полупроводниковых преобразователей / И. Славик. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 222 с.
7. Фрумкин, Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д. Фрумкин. – М. : Высш. шк., 1989. – 463 с.

## Содержание

Введение .....	3
<b>Глава 1. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (ЭА) .....</b>	<b>4</b>
1.1. Требования и факторы, влияющие на конструкцию .....	4
1.2. Стандартизация в конструировании .....	6
1.3. Виды, обозначение и комплектность конструкторских документов .....	8
1.4. Условия эксплуатации электронной аппаратуры .....	15
1.5. Методы поиска конструктивных решений .....	21
1.6. Надежность электронной аппаратуры (ЭА) .....	26
1.7. Задачи и методы компоновки электронной аппаратуры ....	38
<b>Глава 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ И ШКАФОВ .....</b>	<b>41</b>
2.1. Базовые несущие конструкции (БНК) .....	41
2.2. Готовые несущие конструкции и корпуса .....	43
2.3. Конструктивные схемы блоков .....	45
2.4. Расположение элементов в конструкции .....	46
2.5. Устройства отображения информации .....	47
<b>Глава 3. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....</b>	<b>50</b>
3.1. Печатные платы (ПП) .....	50
3.2. Печатные узлы .....	52
3.3. Микросборки .....	54
3.4. Электрический жгутовой монтаж .....	55
3.5. Электрические провода и кабели .....	56
3.6. Электрические контактные соединения .....	58
3.7. Волоконно-оптические цепи .....	63
Библиографический список .....	68

Учебное издание

*Медведев Валерий Александрович*

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Учебное пособие

Редактор *Е.Ю. Жданова*  
Технический редактор *З.М. Малявина*  
Компьютерная верстка: *И.И. Шишкина*  
Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 24.09.2013. Формат 60×84/16.  
Печать оперативная. Усл. п. л. 4,07.  
Тираж 50 экз. Заказ № 1-75-12.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

