

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

А.В. Башкиров

КУРСОВОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО  
ОСНОВАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Утверждено Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2015

УДК 621. 396.6

Башкиров А.В. Курсовое проектирование по основам проектирования приборов и систем: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (10.6 Мб) / А.В. Башкиров. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв. – Систем. требования : ПК 500 и выше ; 256 Мб ОЗУ ; Windows XP ; SVGA с разрешением 1024x768 ; Adobe Acrobat ; CD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы конструирования приборов и систем радиоэлектронного назначения, специфика обеспечения, технологичности конструкций, электромонтажной совместимости, методы обеспечения надежности и защиты электронных приборов от внешних воздействий, а также методика используемых в конструкторской практике расчетов.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению 200100.62 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), дисциплине «Основы проектирования приборов и систем».

Табл. 15 Ил. 61. Библиогр.: 10 назв.

Рецензенты: кафедра основ радиотехники и электроники  
Воронежского института ФСИН (нач. кафедры  
канд. техн. наук, доц. Р.Н. Андреев)  
канд. техн. наук, доц. А.В. Турецкий

© Башкиров А.В., 2015  
© Оформление. ФГБОУ ВПО  
«Воронежский государственный  
технический университет», 2015

## **Введение**

Основы проектирования приборов и систем является курсом, занимающим одно из ведущих мест среди других дисциплин в процессе подготовки бакалавров технических наук в области приборостроения.

Целью курса является обучение студентов теоретическим и практическим навыкам конструирования электронных средств с учетом заданных условий их эксплуатации и производства.

Настоящее пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальности 200100 «Приборостроение», Профиль «Приборостроение» и рекомендуется к применению при курсовом проектировании в качестве методического материала. В предлагаемом пособии содержатся основные сведения, необходимые для правильного подхода к конструированию сборочных единиц и деталей радиоэлектронной аппаратуры, изложены требования по оформлению пояснительной записки и графического материала по ЕСКД. Методика конструкторских расчетов, приводимых в пособии, основана на использовании компьютерной техники и систем автоматизированного проектирования.

Издание настоящего пособия явилось следствием анализа современной учебной и научно-технической литературы, освещающей вопросы конструирования РЭС. Проведенная при этом работа позволила сделать вывод об отсутствии учебников или другого вида изданий, в которых в достаточно обобщенном и концентрированном виде была бы изложена методика конструирования функционально и конструктивно законченных РЭС различного уровня и назначения с учетом позиций системного подхода.

## **1 Организационные вопросы курсового проектирования**

### **1.1 Место курсового проектирования в изучении дисциплины «Основы проектирования приборов и систем»**

Курсовой проект является самостоятельной работой студента. на завершающем этапе процесса конструкторской подготовки студентов, необходимым для успешного выполнения последующих дипломного проекта и инженерной работы на предприятиях промышленности. Курс базируется на знании предшествующих дисциплин: «Материалы конструкций и технология деталей», «Конструирование и технология микросхем и микропроцессоров», «Конструирование механизмов и расчет прочности элементов РЭС». Изучение вышеперечисленных дисциплин и базирующегося на их основе «Основы конструирования ЭС» позволяет студентам проектировать радиоэлектронную аппаратуру, весьма разнообразную по назначению, массогабаритным характеристикам, механическим нагрузкам и условиям эксплуатации, дизайнерской проработке и конструктивному выполнению.

### **1.2 Цели и задачи курсового проектирования**

Цель курсового проекта заключается в приобретении навыков конструирования приборов и систем, способствующих формированию у студентов конструкторского, мышления, развивающегося на базе полученных в процессе обучения теоретических знаний, их систематизации и расширение. Выполняя курсовой проект, студенты закрепляют знания, полученные на лекции лабораторных и других видах занятий, и приобретают навыки самостоятельной работы, анализа технического задания и конструкторских расчетов

### 1.3 Тематика курсового проектирования

Темой курсового проекта может являться как разработка конструкции наземного, бортового или морского радиоэлектронного устройства различного функционального назначения, так и задачи, связанные с исследовательской работой в области конструирования РЭС. По конструктивной сложности разрабатываемое устройство должно относиться к изделиям второго и более высоких уровней. Курсовые проекты исследовательского профиля связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области конструирования РЭС.

### 1.4 Анализ технического задания

Проектирование конструкции РЭС базируется на анализе электрической принципиальной схемы и технических требований, выданных в задании на курсовой проект, сопровождается выбором элементной базы, компоновкой, разработкой сборочных чертежей и чертежей деталей, выбором электрических соединений и соединителей, материалов и покрытий, а также расчетами, проводимыми при конструировании (обеспечение тепловой и электромагнитной совместимости, помехоустойчивости, электрической и механической прочности и других). При этом особое внимание обращается на обеспечение требований комплексной миниатюризации, надежности, стандартизации и технологичности.

Основными исходными данными для выполнения курсового проекта являются:

- схема электрическая принципиальная РЭС;
- электрические требования с указанием данных, наиболее характерных для разрабатываемого устройства (чувствительность, избирательность, рабочий диапазон частот, выходная мощность и т. д.);

- конструкторские требования: компоновочные данные (масштабные характеристики, коэффициенты заполнения изделия по объему, по массе), показатели надежности, степень унификации и т.д.;

- условия эксплуатации (задаются объектом эксплуатации РЭС, например: наземная бытовая РЭС; бортовая самолетная РЭС).

Анализ технического задания (ТЗ) производится с целью определения основных направлений создания конструкций и состоит в оценке степени важности множества взаимосвязанных факторов, оказывающих влияние на качество будущей конструкции. Каждому требованию ТЗ необходимо поставить в соответствие обоснованное решение, обеспечивающее выполнение данного требования.

Рассматривая конструкцию как систему, по результатам анализа в первом приближении определяют /2/:

- структурное (функциональное) построение будущей конструкции и элементную базу;
- требования к конструкционным материалам;
- способы защиты конструкций от внешних дестабилизирующих воздействий;
- способ обеспечения нормального теплового режима (систему охлаждения).

Принятые решения должны быть обоснованы расчетом количественных критериальных показателей. Как правило, критерием предпочтения служат значения материальных показателей конструкции /3/.

К выполнению этого этапа работы нужно подойти с особой тщательностью, поскольку результаты всех последующих этапов работы являются логическим следствием сформулированных требований и определяют его конечные результаты: тип конструкции, ее построение и характеристики. Принятие предварительного решения о типе конструкции устройства и технологии его изготовления существенно влияет на последующий выбор элементной базы, материалов, способов защиты от дестабилизирующих факторов, надежность и т.д.

Так, если для устройства предполагается применить герметизированный корпус, то в этом случае существенно снижаются требования к влагостойкости и биологической стойкости тех элементов, которые будут размещены в корпусе, но возрастают требования к теплостойкости и т.п.

#### **1.4.1 Оформление расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части**

Страницы текста РПЗ выполняются на формате А4 шрифтом 14 с одинарным интервалом между строк, соблюдая следующие размеры полей: левое – не менее 20 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм. Нумерация страниц, таблиц и формул сквозная по тексту. Номер страницы проставляется в центре нижней части листа без точки.

Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки. Между заголовком и текстом, между заголовками раздела и подраздела должна быть пропущена одна строка.

Нумерация формул записывается справа в круглых скобках, ссылки на источники в квадратных скобках.

При оформлении пояснительной записки дипломного проекта бланки титульного листа, задание на выпускную квалификационную работу, рецензия изготавливаются по СТП ВГТУ и выдаются дипломантам и рецензенту соответственно.

Пример составления реферата и оформление содержания приведены в приложении А и СТП ВГТУ. Все вышеизложенное содержится в СТП ВГТУ 004-2003 [2].

Чертежи, схемы, масштабы, линии, шрифты выполняются по ГОСТам ЕСКД (приложение Б).

Схемы алгоритмов и программ выполняются по единой системе программной документации (ЕСПД).

Чертежи в автоматизированной системе управления (АСУ) – по стандартам ЕСКД, ЕСПД и АСУ, САПР и другой нормативной документации.

## **2 Указания по выполнению графических работ**

Графическая часть курсового проекта выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД. В состав графической части проекта могут входить следующие чертежи (в пересчете на формат А1 – 594 x 841 мм):

- электрическая схема устройства, 1 лист;
- сборочный чертеж устройства, 1 лист;
- электромонтажный чертеж, 1 лист;
- рабочие чертежи деталей, чертежи печатной платы, 1 лист.

Чертежи выполняются карандашом, на чертежах деталей должны быть указаны данные, необходимые для изготовления и контроля (допускаемые отклонения размеров, высота микронеровностей поверхности, покрытия, специальные требования). На сборочных чертежах должны быть приведены все сведения, необходимые для сборки, регулировки и контроля.

Каждый чертеж должен иметь основную надпись конструкторского документа, расположенную в правом углу поля документа. Спецификации помещаются в приложении расчетно-пояснительной записки.

Содержание и объем графического материала согласовывается с преподавателем-руководителем курсового проекта.

### **2.1 Правила выполнения схем**

#### **Общие положения**

Схема - конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. При выполнении схем используются следующие термины.

Элемент схемы - составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение (резисторы, трансформаторы, диоды, транзисторы и т.п.).

Устройство - совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата, шкаф, панель и т.п.). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

Функциональная группа - совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию (панель синхронизации главного канала и др.).

Функциональная часть - элемент, функциональная группа, а также устройство, выполняющее определенную функцию (усилитель, фильтр).

Функциональная цепь - линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т.п.).

Линия взаимосвязи - отрезок прямой, указывающий на наличие электрической связи между элементами и устройствами.

Классификацию схем по видам и типам устанавливает ГОСТ 2.701-84. Виды схем определяются в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, и обозначаются буквами русского алфавита. Различают десять видов схем: электрическая - Э, гидравлическая - Г, пневматическая - П, газовая - Х, кинематическая - К, вакуумная - В, оптическая - Л, энергетическая - Р, деления - Е, комбинированная - С.

Схемы деления изделия на составные части (буквенное обозначение Е) разрабатывают для определения состава изделия. Комбинированные схемы выполняют, если в состав изделия входят элементы разных видов.

Схемы в зависимости от назначения подразделяют на типы и обозначают арабскими цифрами. Установлено восемь типов схем: структурная - 1, функциональная - 2, принципиальная (полная) - 3, соединений (монтажная) - 4, подключения - 5, общая - 6, расположения - 7, объединенная - 0. На объединенной схеме совмещаются различные типы схем одного вида, например, схема электрическая соединений и подключения.

Наименование и код схемы определяются ее видом и типом. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Например, схема электрическая принципиальная - ЭЗ, схема гидравлическая соединений - Г4 и т.д. Наименование комбинированной схемы определяется видами схем, входящими в ее состав, и соответствующим типом, например, схема электрогидравлическая принципиальная - СЗ. Наименование объединенной схемы определяется видом схемы и типами схем, входящими в ее состав, например схема электрическая соединений и подключения - Э0. При выполнении комбинированных и объединенных схем должны соблюдаться правила, установленные для соответствующих видов и типов схем.

В технических документах, разрабатываемых при проектировании, эксплуатации и исследовании электротехнических устройств, применяют все типы схем, указанные выше, при этом на стадиях эскизного и технического проектирования разрабатывают структурные и функциональные схемы, на стадии рабочего проектирования - принципиальные, соединений, подключения, общие и расположения. Общее количество схем, входящих в комплект конструкторской документации на изделие, выбирается минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, эксплуатации, контроля и ремонта изделия. Между схемами одного комплекта осуществляется однозначная связь при помощи буквенно-цифровых позиционных обозначений. Такая связь необходима для быстрого отыскания одних и тех же элементов или устройств, входящих в схемы различного типа.

Общие правила выполнения схем устанавливает ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-75. Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей не учитывается или учитывается приближенно. Электрические элементы и устройства на схеме изображают в состоянии, соответствующем обесточенному.

Элементы и устройства, которые приводятся в действие механически, изображают в нулевом или отключенном положении. При отклонении от этого правила на поле схемы необходимо давать соответствующие указания.

Форматы листов для выполнения схем следует выбирать из основного ряда форматов согласно ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.004-79. При выборе форматов схемы следует учитывать объем и сложность схемы, условия хранения и обращения схем, возможность внесения изменений, особенности техники выполнения схем. Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схем без ущерба для ее наглядности и удобства использования.

Линии на схемах всех типов выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.303-63. Толщины линий выбираются в пределах от 0,4 до 1 мм и выдерживаются постоянными во всем комплекте схем. Графические обозначения элементов и линии взаимосвязи выполняют линиями одинаковой толщины. Допускается утолщением линий при необходимости выделить отдельные электрические цепи, например, силовые цепи. На одной схеме рекомендуется применять не более трех типоразмеров линий по толщине. Назначение, применение и начертание линий в электрических схемах представлены в таблице 1.

Таблица 1- Назначение, наименование и начертание линий

Назначение	Наименование	Начертание
Электрические связи, графические обозначения элементов	Сплошная	
Механические связи, экраны	Штриховая	
Условные границы устройств, функциональных групп	Штрихпунктирная	

На электрической схеме изображают элементы и устройства в виде графических обозначений, линии взаимосвязи, буквенно-цифровые обозначения, таблицы, помещают текстовую информацию, основную надпись.

## 2.2 Выполнение схем

### Схемы принципиальные

Схема электрическая принципиальная определяет полный состав элементов изделия и дает детальное представление о принципе работы изделия. Принципиальная схема служит основой для разработки других конструкторских документов - схемы соединений и расположения, чертежей конструкции изделия - и является наиболее полным документом для изучения принципа работы изделия. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи (разъемы, зажимы и

т.п.). Элементы изображают в виде условных графических обозначений, установленных ГОСТ и ЕСКД.

Построение схемы осуществляется разнесенным и совмещенным способами. Разнесенным способом выполняют схемы автоматики и электрооборудования (т.е. схемы, содержащие много контакторов, реле и различных контактов). При выполнении таких схем рекомендуется пользоваться строчным способом, располагая условные графические обозначения элементов, входящих в одну цепь, последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи - одну под другой таким образом, чтобы изображения этих цепей образовали параллельные строки (горизонтальные или вертикальные). При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами, указывать назначение цепей. На рисунке 1 изображена схема электрическая принципиальная устройства, в которое входят цепочки элементов VD и R, соединенные параллельно. При выполнении схемы применен способ упрощенного изображения нескольких одинаковых элементов, соединенных параллельно.

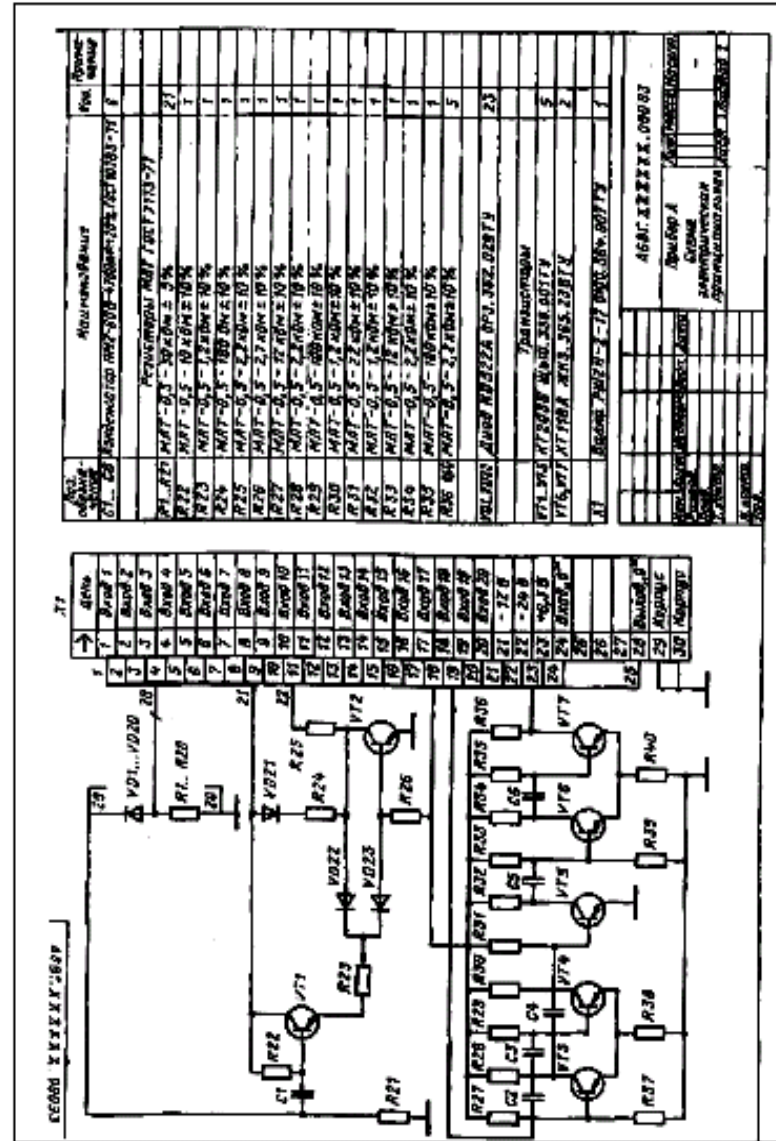


Рисунок 1- Устройство 1. Схема электрическая принципиальная

Линии связи, идущие от средней точки между этими элементами, выполнены в однолинейном представлении,

обозначены порядковыми номерами (1 ... 20). Линия групповой связи показана утолщенной линией. Разветвления от групповой линии связи изображены под углом 45° к ней и обозначены. Каждая из них имеет однозначный адрес присоединения. Такой прием значительно упрощает графику схемы. На рисунке 2 для сравнения показано многолинейное представление фрагмента этой схемы. Каждый элемент или устройство, изображенные на схеме, должны иметь позиционное буквенно-цифровое обозначение в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710-81. Позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах изделия (рисунок 1).

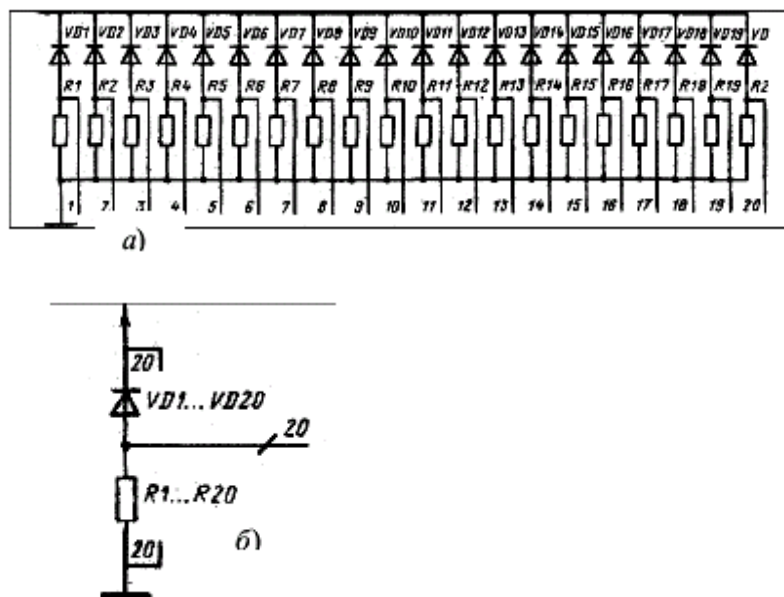


Рисунок 2 – Обозначение схем

Порядковые номера элементам и устройствам присваивают, начиная с единицы в пределах группы элементов, имеющих одинаковые буквенные позиционные обозначения,

например, R1, R2 и т.д., C1, C2 и т.д. Порядковые номера присваивают в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. Позиционные обозначения проставляют рядом с графическим обозначением с правой стороны или над ним.

При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом его позиционное обозначение проставляют около каждой составной части. При разнесенном способе изображения схемы эти обозначения следует указывать на каждой составной части элементов, при этом, если на схеме представлено несколько одинаковых элементов, обозначение контактов допускается наносить только на изображении одного из элементов (рисунок 4). На принципиальной схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, ток, сопротивление, индуктивность и т.п.). Допускается указывать адреса внешних соединений (если они заведомо определены), например, Л - X3:5, т.е. выходной контакт должен быть соединен с 5-м контактом разъема X3 устройства А, или "Прибор А", если такая надпись обеспечивает однозначность присоединения.

Характеристики входных и выходных цепей изделия, а также адреса их внешних подключений рекомендуется записывать в таблицы, помещаемые вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов - разъемов, плат и т.д. Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы. Размеры и форма таблицы ГОСТом не устанавливаются. При отсутствии характеристик входных и выходных цепей или адресов их внешнего присоединения в таблице не приводят графу с этими данными. При необходимости допускается вводить в таблицу дополнительные графы.

Каждой таблице присваивают позиционное обозначение элемента, вместо условного графического обозначения которого она помещена. Допускается сохранять условные



графические обозначения входных и выходных элементов - разъемов, плат и т.п. (рисунок 3).

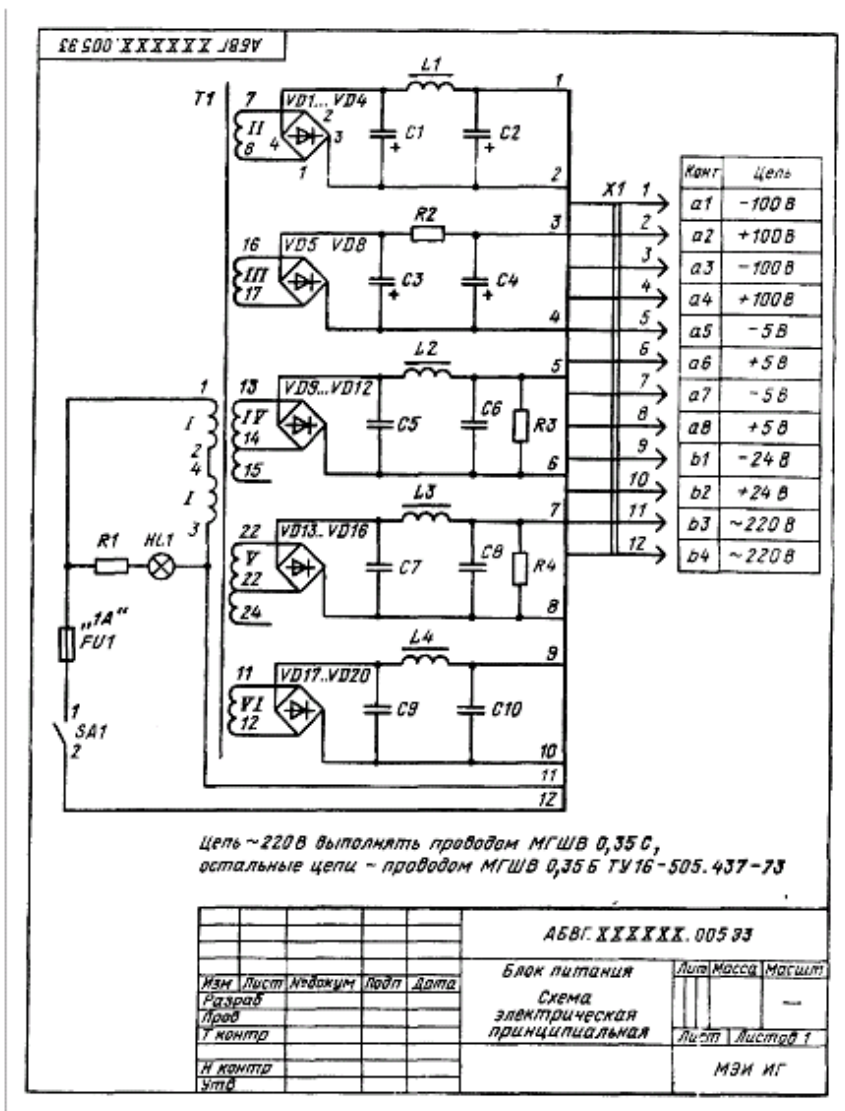


Рисунок 3 - Блок питания. Схема электрическая принципиальная

20	110	15	40					
Пос. обозна- чение	Наименование	Кол.	Примечание					
	Конденсаторы							
C1...C4	К50-350-160-200 ОК0.464.042 ТУ	4						
C5...C10	К50-6-II-25В-200 мкФ ОК0.464.031 ТУ	0						
FU1	Вставка плавкая ВПТ-1-1А-250 В ОК0.480.003 ТУ	1						
ML1	Лампа МН18-01 ГОСТ 2204-80	1						
L1...L4	Дроссель Д29-1,2-0,28 ОК0.475.000 ТУ	4						
	Резисторы МЛТ ГОСТ...							
R1	МЛТ-0,5-520 Ом ± 10%	1						
R2	МЛТ-2-240 Ом ± 10%	1						
R3, R4	МЛТ-2-510 Ом ± 10%	2						
SA1	Микротумблер МТ1 ОК0.350.015 ТУ	1						
T1	Трансформатор ТАМТ-127/220 50 ОК0.470.001 ТУ	1						
VD1...VD20	Диод Д2376 ТУ.362.021 Т	20						
X1	Вилка РЛ4-30А ЕС3.655.015 ТУ	1						
	МКОТ.ХХХХХХ.005 ПЭЗ							
Мзм	Лист	Изд.	Подп.	Дата	Блок питания	Лист	Масса	Магшлт
Разраб.					Схема электрическая принципиальная			
Проб.						Лист	Листов	1
И контр.								МЭИ ИГ
Утв.								

Рисунок 4 - Блок питания. Перечень элементов

В графе "Конт." допускается проставлять несколько последовательных номеров контактов в случае, если они соединены между собой.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы и устройства, входящие в состав изделия. Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов (см. рисунок 4). При проектировании изделия, в которое входят несколько разных устройств, на каждое из них рекомендуется выполнять самостоятельную принципиальную схему. Если такие устройства могут быть применены в других изделиях или самостоятельно, выполнение отдельных принципиальных схем для них является обязательным. При оформлении принципиальной схемы изделия, в состав которого входят устройства, имеющие самостоятельные принципиальные схемы, каждое такое устройство рассматривают как элемент схемы изделия, присваивают ему позиционное обозначение, изображают в виде прямоугольника или условного графического обозначения, записывают в перечень элементов в одну строку. На схеме изделия в прямоугольники, изображающие устройства, допускается помещать электрические схемы этих устройств. Если в изделие входят несколько одинаковых устройств, то схему устройства рекомендуется помещать на свободном поле схемы изделия с соответствующей надписью "Схема АБВГ.ХХХХХХ.156.ЭЗ".

### 2.3 Правила выполнения чертежей

Основные требования к выполнению сборочных чертежей указаны в ГОСТ 2.109-73.

#### Спецификация и сборочный чертеж

Спецификация и сборочный чертеж изделия относятся к рабочей конструкторской документации. Эта документация разрабатывается после выполнения чертежа общего вида и чертежей деталей. Основным конструкторским документом для

сборочной единицы, комплекса и комплекта по ГОСТ 2.102-68 является спецификация, которая представляет собой перечень составных частей и конструкторских документов для конкретного изделия. Необходимость спецификации как самостоятельного конструкторского документа обусловлена потребностями изготовления, комплектования конструкторских документов, планирования запуска изделий в производство. Форму и порядок заполнения спецификации устанавливает ГОСТ 2.108-68. Спецификацию составляют на листах формата А4 по форме, приведенной на рисунке 5.

	6	6	6	70	63	22
10	Формы	Лист	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.
20						Примечание

Рисунок 5 - Форма спецификаций

В спецификацию вносят составные части, входящие в изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к изделию в целом и его составным частям.

В общем случае спецификация состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты.

В зависимости от состава изделия некоторые разделы в спецификации могут отсутствовать.

В разделах "Комплексы", "Сборочные единицы", "Детали" запись указанных изделий производят в порядке возрастания цифр, входящих в классификационную характеристику изделия. Детали с одинаковой

классификационной характеристикой рекомендуется записывать в соответствии с порядковым номером.

Если в разделы "Комплексы", "Сборочные единицы", "Детали" входят изделия, разработанные различными организациями, то запись изделий производят в алфавитном порядке сочетания начальных знаков (букв) индексов организаций-разработчиков, а далее в порядке цифр, входящих в обозначение. Изделия, примененные по государственным, республиканским, отраслевым стандартам, а также по стандартам предприятий, относят к "Стандартным изделиям".

Стандартными изделиями чаще всего являются подшипники, крепежные изделия по государственным стандартам, затем - по республиканским, отраслевым и стандартам предприятий.

В пределах каждой категории стандартов изделия объединяют в группы по функциональному признаку. Обычно вначале записывают радиоэлементы, а затем крепежные детали: болты, винты, гайки, шпильки, шпонки и т.д. (в порядке алфавита), в пределах каждого наименования - по возрастанию обозначения стандарта, а внутри одного стандарта - по возрастанию основных параметров или размеров изделия. Раздел "Прочие изделия" содержит изделия, примененные по техническим условиям. Запись изделий производится по однородным группам. Дальнейший порядок записи аналогичен порядку записи стандартных деталей. В спецификациях на электротехнические изделия порядок записи прочих изделий может быть определен порядком их записи в перечне электрической схемы.

В раздел "Материалы" вносят материалы, непосредственно входящие в изделие, такие как кабели, провода, шнуры, нефтепродукты, лаки, краски и т.д. Порядок записи материалов определен ГОСТ 2.108-68. После заполнения граф спецификации следует сделать следующие замечания:

- в графе "Формат" указывают форматы документов. Если документ выполнен на листах разного формата, то в графе

проставляют "звездочку", а форматы указывают в графе "Примечание" в порядке возрастания. В разделах "Стандартные изделия", "Прочие изделия", "Материалы" графу не заполняют;

- в графе "Зона" указывают обозначение зоны чертежа, в которой находится номер позиции составной части;

- в графе "Поз." указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации. В разделах "Документация" и "Комплекты" графу не заполняют;

- в графе "Обозначение" указывают обозначение конструкторских документов и изделий в соответствии с ГОСТ 2.201-80. В разделах "Стандартные изделия", "Прочие изделия", "Материалы" графу не заполняют;

- в графе "Наименование" указывают наименование изделия в соответствии с основной надписью на конструкторских документах этих изделий. Для стандартных, прочих изделий и материалов к наименованию добавляются обозначения в соответствии со стандартами и техническими условиями. В разделе "Документация" записывают только наименование элемента на данное специфицируемое изделие: "Сборочный чертеж".

После каждого раздела спецификации следует оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей. Допускается резервировать и номера позиций. Сборочный чертеж является документом, на котором приводятся сведения, необходимые для изготовления (сборки) сборочной единицы. В общем случае сборочный чертеж должен содержать:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность сборки и контроля сборочной единицы;

- размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному чертежу;

- указания о характере сопряжений и методах его осуществления;

- номера позиций составных частей, входящих в изделие, в точном соответствии со спецификацией на данное изделие;
- габаритные размеры изделия,
- установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;
- при необходимости техническую характеристику и координаты центра масс.

Изображение на сборочных чертежах следует выполнять с упрощениями по ГОСТ 2.109-73 и другим стандартам ЕСКД. Допускается изображать нерассеченными составные части, на которые оформляются самостоятельные сборочные чертежи. Типовые, покупные и другие широко применяемые изделия допускается изображать внешними очертаниями. Сварное, паяное, клееное и тому подобное изделие из однородного материала в сборе с другими изделиями в разрезах и сечениях штрихуют в одну сторону, изображая границы между двумя изделиями сплошными основными линиями.

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом при условии их размещения на листе формата А4, при этом спецификацию располагают ниже графического изображения изделия и заполняют ее в том же порядке и но той же форме, что и спецификацию, выполненную как самостоятельный конструкторский документ. Такому совмещенному конструкторскому документу присваивается обозначение основного конструкторского документа.

На чертежах сборочных единиц, изготавливаемых наплавкой металла или сплава на деталь, заливкой поверхностей детали пластмассой, резиной и т.д., наносят размеры окончательно готовой сборочной единицы и другие данные, необходимые для изготовления и контроля. Наплавляемый металл для заливки записывают в спецификацию сборочной единицы в раздел "Материалы".

### **Чертежи печатных плат**

Сущность печатного монтажа заключается в нанесении на изоляционное основание тонких электропроводящих покрытий,

выполняющих функции монтажных проводов и элементов схемы - резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, контактных деталей и др.

Координатная сетка - сетка, наносимая на изображение платы и служащая для определения положения монтажных отверстий, печатных проводников и других элементов платы.

Шаг координатной сетки - расстояние между соседними линиями координатной сетки. Шаг координатной сетки 2,5; 1,25; 0,5 или должен быть кратным 0,625 мм (0,625; 1,25; 1,875; 2,5 и т. д.).

Узел координатной сетки - точка пересечения линий координатной сетки.

Конструкторская документация на печатные платы и узлы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73, ГОСТ 2.417-68 и действующими нормативно-техническими документами. Чертеж печатной платы односторонней или двусторонней классифицируется как чертеж детали. Чертеж печатной платы должен содержать все сведения, необходимые для ее изготовления и контроля: изображение печатной платы со стороны печатного монтажа; размеры, предельные отклонения и шероховатость поверхностей печатной платы и всех ее элементов (отверстий, проводников), а также размеры расстояний между ними; необходимые технические требования; сведения о материале.

Размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5 при длине до 100 мм; 5 при длине до 350 мм; 20 при длине более 350 мм. Максимальный размер любой из сторон печатной платы не должен превышать 470 мм. Соотношение линейных размеров сторон печатной платы должно быть не более 3:1 и выбирается из ряда 1:1; 1:2; 2:3; 2:5. Толщину плат определяют исходя из механических требований, предъявляемых к конструкции печатного блока, с учетом метода изготовления. Рекомендуются платы толщиной 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Чертежи печатных плат выполняют в натуральную величину или с увеличением 2:1, 4:1, 5:1, 10:1.

Разработку чертежа печатной платы начинают с нанесения координатной сетки. За основной шаг прямоугольной координатной сетки по ГОСТ 10317-79 принимается 2,5 мм. Для малогабаритной аппаратуры и в технически обоснованных случаях допускается применять дополнительные шаги 1,25 и 0,5 мм.

Центры всех отверстий на печатной плате должны располагаться в узлах координатной сетки. Если из-за конструктивных особенностей навесного элемента это сделать нельзя, то центры отверстий располагают согласно указаниям чертежа на этот элемент. Такое расположение центров отверстий используют для ламповых панелей, малогабаритных реле, разъемов и других элементов. При этом должны соблюдаться следующие требования: центр одного из отверстий, принятого за основное, должен быть расположен в узле координатной сетки; центры остальных отверстий нужно по возможности располагать на вертикальных или горизонтальных линиях координатной сетки. На рисунке 6 сказано расположение отверстий на печатной плате.

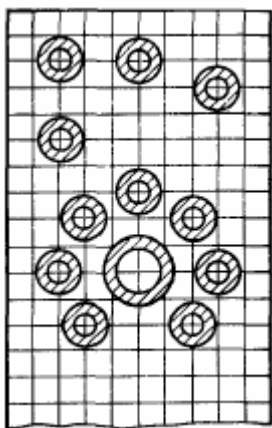


Рисунок 6 - Изображение отверстий

Диаметры монтажных и переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий выбирают из ряда (0,2); 0,4; (0,5); 0,6; (0,7); 0,8; (0,9); 1,0; (1,2); 1,3; 1,5; 1,8; 2,0; 2,2; (2,4); (2,6); (2,8); (3,0). Диаметры, не взятые в скобки, являются предпочтительными. Не рекомендуется на одной печатной плате иметь более трех различных диаметров отверстий. Диаметры металлизированных отверстий выбирают в зависимости от диаметров выводов навесных элементов и толщины платы, а диаметры неметаллизированных отверстий - в зависимости от диаметров выводов навесных элементов, устанавливаемых в эти отверстия (таблица 2) необходимость зенковки монтажных и переходных отверстий диктуется конкретными конструктивными требованиями и методом изготовления платы.

Таблица 2 - Значение диаметров металлизированных и неметаллизированных отверстий

Номинальный диаметр монтажного неметаллизированного отверстия, мм	Номинальный диаметр монтажного и переходного металлизированного отверстия, мм	Максимальный диаметр вывода навесного элемента, мм
0,5	0,4	-
0,7	0,6	до 0,4
0,9	0,8	0,4-0,6
1,1	1	0,6-0,8
1,6	1,5	0,8-1,3
2,1	2	1,3-1,7

При применении других диаметров металлизированных отверстий по ГОСТ 10317-79 разница между диаметром металлизированного отверстия и диаметром вывода должна быть не более 0,4 мм для выводов диаметром от 0,4 до 0,8 мм и 0,6 мм для выводов диаметром свыше 0,8 мм. Шероховатость

поверхности монтажных неметаллизированных отверстий и торцов печатных плат должна быть  $Rz < 80$  по ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности монтажных и переходных металлизированных отверстий -  $Rz < 40$ .

Для упрощения графики платы отверстия показывают окружностями одинакового диаметра с обозначением по таблице 3 (по ОСТ 27-72-694-834).

При выполнении отверстий таким способом на поле чертежа помещают таблицу отверстий (таблица 4). Размеры граф и форма таблицы ГОСТом не устанавливаются.

Таблица 3

Обозначение	Диаметр, мм	Диаметр зенковки, мм	Наличие металлизации	Количество
	0,6 +1	$1,1^{+0,2} \times 100^\circ$	Есть	28
	0,8 +1	$1,1^{+0,2} \times 100^\circ$	-	35
	1,5 +0,12	$2,0^{+0,2} \times 100^\circ$	-	18
	2,7 0,1		Нет	4
	3,6 +0,3		-	2

Таблица 4 - Условное обозначение отверстий

Диаметр отверстия, мм	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	5,0
Условное обозначение								

Все монтажные отверстия должны иметь контактные площадки. Форма контактной площадки может быть произвольной, круглой, прямоугольной или близкой к ним.

Центр контактной площадки симметричной формы должен совпадать с центром монтажного отверстия, для контактных площадок прямоугольной и овальной форм центр монтажного отверстия может быть смещен. Круглые контактные площадки и отверстия с зенковкой изображают одной окружностью, диаметр которой должен соответствовать минимальному размеру контактной площадки. Размер диаметра контактных площадок следует указывать в технических требованиях чертежа. При наличии на плате контактных площадок, не оговоренных размерами или по форме отличных от круглых, допускается все контактные площадки изображать окружностью, равной диаметру отверстия. Форму и размеры следует задавать записью в технических требованиях "Форма контактных площадок произвольная,  $b_{min} = \dots$  мм". Для простановки размеров групповых контактных площадок рекомендуется вынести изображение контактной группы в увеличенном масштабе с простановкой необходимых размеров на поле чертежа.

Габаритные размеры печатной платы, диаметры и координаты отверстий, контактных площадок и их относительное расположение показывают на чертеже одним из следующих способов:

- в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307-68 с помощью размерных и выносных линий;
- нанесением координатной сетки;
- комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки;
- с помощью таблицы координат.

На рисунке 6 приведен пример выполнения чертежа двусторонней печатной платы. Размеры всех элементов нанесены при помощи размерных и выносных линий. При таком способе выполнения чертежа координатную сетку не наносят. За начало отсчета в данном примере принят центр левого нижнего отверстия платы. Отверстия различного диаметра обозначены в соответствии с данными таблице 4.



Контактные площадки и отверстия с зенковкой упрощенно изображены одной окружностью.

При задании размеров нанесением координатной сетки линии сетки должны нумероваться. Шаг нумерации определяют конструктивно с учетом насыщенности и масштаба изображения. Координата сетку в зависимости от способа выполнения документации наносят на все поле платы или рисками по периметру платы (рисунок 7). Допускается наносить не все линии координатной сетки, при этом на поле чертежа помещают запись типа "Линии координатной сетки нанесены через одну". За нуль в прямоугольной системе координат на главном виде платы принимают центр крайнего левого нижнего отверстия, левый нижний угол платы, левую нижнюю точку, образованную построениями, например продолжением линии контура платы, углы которого срезаны. Все недостающие данные относительно печатного монтажа указаны в технических требованиях чертежа.

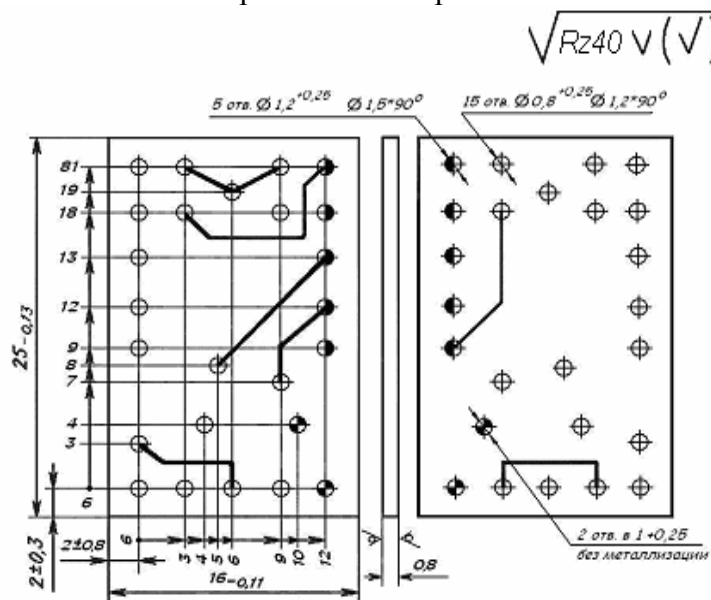


Рисунок 7 - Двусторонняя ПП

На чертеже печатной платы указывают габаритные размеры платы, ширину проводников, имеющих строго определенную или переменную ширину (при этом расчетную ширину следует указывать на каждом участке между двумя соседними контактными площадками, переходными или монтажными отверстиями), диаметры и координаты крепежных, технологических и других отверстий, не связанных с печатным монтажом.

На поле чертежа указывают метод изготовления платы, технические условия (если не все данные содержатся на чертеже), шаг координатной сетки, ширину проводников и расстояния между ними, расстояния между контактными площадками, между контактной площадкой и проводником, допуски на выполнение проводников, контактных площадок, отверстий и расстояний между ними, особенности конструкций, технологии и другие параметры печатных плат.

Технические требования располагают над основной надписью, формулируют и излагают в следующей последовательности:

1. Материал заменитель...
2. \* Размер для справок.
3. Плата должна соответствовать ... (ГОСТ 23752-79, группа жесткости ...).
4. Плату изготовить ... методом...
5. Шаг координатной сетки ... мм.
6. Класс точности ... по ГОСТ 23751-86.
7. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа ... мм.
8. Допускается скругление углов контактных площадок и проводников.
9. Места, обведенные штрихпунктирной линией, проводниками не занимать.
10. Требования к параметрам элементов платы - в соответствии с конструктивными данными.
11. Ширина проводников в свободных местах ... мм, в узких ... мм.

12. Расстояние между двумя проводниками, между двумя контактными площадками или проводником и контактной площадкой в свободных местах ... мм, в узких ... мм.

13. Форма контактных площадок произвольная,  $b_{\min}$ -... мм.

Таблица 5 - Группы жесткости печатных плат

Наименование воздействующего фактора		Значение воздействующего фактора по группам жесткости			
		1	2	3	4
Тем- пера-тура окружаю- щей среды	Повышен- ная температура, °С	85 ±3		1 00 ±3	1 20 ±5
	Понижен- ная температура, °С	-60 ±3			
	Время выдержки, ч	2			
Пов- ы-шенная влаж- ность	Относите- льная влажность, %	93 ±3			
	Температ- ура, °С	40±2			
	Время выдержки, сут.	2	4	1 0	2 1
Цик- личе-ское воздейст- вие	Верхнее значение температуры, °С	5 5±3	8 5±3	1 00±3	1 20±5

	Нижнее значение температуры, °С	- 40±3	-60±3	
	Количест- во циклов	2	4	9
Давление, Па (мм рт.ст.)		Н орм. 7 65	53600 (400)	6 66 (5)

14. Допускается занижение контактных площадок металлизированных отверстий: на наружных слоях до зенковки, на внутренних слоях ...

15. Предельные отклонения расстояний между центрами отверстий, кроме оговоренных особо, в узких местах ± ... мм, в свободных местах ±... мм.

16. Предельные отклонения расстояний между центрами контактных площадок в группе ±... мм.

17. Маркировать эмалью ... ГОСТ, шрифт ... по ГОСТ ...

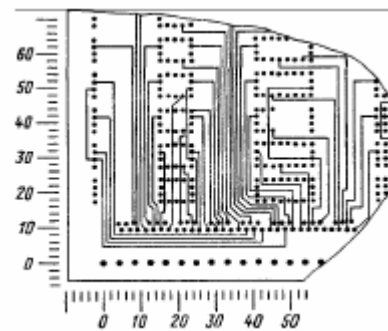


Рисунок 8 - Вариант нанесения координатной сетки

На изображении платы допускается указывать маркировку в соответствии с требованиями ГОСТ 2.314-68. Маркировка



может быть основной и дополнительной. Основная маркировка включает условное обозначение платы, порядковый номер изменения чертежа, дату изготовления, порядковый или заводской номер платы и партии плат. Условное обозначение платы следует выполнять травлением фолы и. В качестве условного обозначения принимают последние три цифры обозначения чертежа платы или буквенно-цифровое обозначение функциональной группы, например, ЛОГ 2. Остальная маркировка выполняется краской.

Дополнительная маркировка включает позиционные буквенно-цифровые обозначения навесных элементов по электрической принципиальной схеме, изображение контура навесных элементов, цифровое обозначение выводов навесных элементов, точек контроля, обозначение положительного вывода (+) полярных навесных элементов.

Символы дополнительной маркировки следует выполнять травлением фольги при наличии свободного места на стороне печатного монтажа платы или краской способом сеткографической печати со стороны печатного монтажа платы, а при необходимости - и со стороны пайки.

К числу особенностей печатного монтажа относятся плоское расположение печатных проводников, что не позволяет осуществлять переход с одной платы на другую без перемычек, переходных колодок или разъемов; установка навесных элементов и крепление выводов только путем пропускания их в отверстия; одновременная пайка всех элементов, установленных на печатной плате.

Навесные элементы следует размещать правильными рядами, параллельно один другому, на той стороне платы, где отсутствуют печатные проводники (рисунок 12). Такое размещение позволяет устанавливать и закреплять навесные элементы на автоматических линиях и выполнять пайку погружением, исключая воздействие припоя на навесные элементы.

Все навесные элементы крепятся на плате с помощью выводов, которые вставляют в монтажные отверстия и

подгибают. Не рекомендуется в монтажном отверстии размещать два и более выводов. Некоторые элементы, например маломощные транзисторы, крепят клеем.

Сборочный чертеж печатной платы при минимальном количестве изображений должен давать полное представление о расположении и выполнении всех печатных и навесных элементов и деталей. Сборочный чертеж выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73 с учетом ГОСТ 2.413-72. Конструкции навесных элементов вычерчиваются в виде упрощенных изображений, им присваивается буквенно-цифровое позиционное обозначение в соответствии с электрической принципиальной схемой, по которой выполняют электрический монтаж платы. На сборочном чертеже печатной платы должны быть указаны номера позиций всех составных частей, габаритные и присоединительные размеры, должны содержаться сведения о способах присоединения навесных элементов к печатной плате.

В технических требованиях сборочного чертежа должны быть ссылки на документы (ГОСТ, ОСТ), устанавливающие правила подготовки и закрепления навесных элементов, сведения о припое и др.

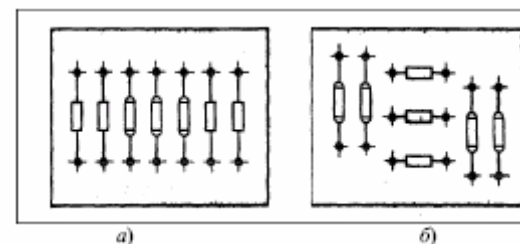


Рисунок 9 - Размещение навесных элементов на печатной плате: а - рекомендуемое; б - не рекомендуемое

Основным конструкторским документом сборочного чертежа печатной платы является спецификация, оформляемая в виде таблицы по правилам ГОСТ 2.108-68. При записи в

спецификацию составных частей, являющихся элементами электрической принципиальной схемы, в графе "Примечание" указывают буквенно-цифровые позиционные обозначения этих элементов (рисунок 10). Разработка конструкторской документации печатных плат может осуществляться ручным, полуавтоматическим или автоматизированным методами.

Ручной метод предусматривает разбивку навесных элементов на функциональные группы, размещение групп элементов на площади платы, трассировку печатных проводников и обеспечивает оптимальное распределение проводящего рисунка.

При ручном методе конструирования разрабатывается чертеж платы, содержащий изображение платы с проводящим рисунком и отверстиями, а также, при необходимости, дополнительное отдельное изображение части платы, требующей графического пояснения или нанесения размеров, координатную сетку, выполненную в соответствии с требованиями ГОСТ 2.417-78, размеры всех элементов проводящего рисунка и их предельные отклонения; технические требования. Чертеж платы должен выполняться в масштабе не менее 2:1, максимальный формат А1.

Полуавтоматизированный метод предусматривает размещение навесных элементов при помощи ЭВМ при ручной трассировке печатных проводников или ручное распределение навесных элементов при автоматизированной трассировке проводников, обеспечивает ускорение процесса конструирования при оптимальном размещении проводящего рисунка. Чертеж платы должен содержать все сведения, необходимые для ее изготовления и контроля. Изображение слоев платы получают с расчерчивающего устройства в виде чертежа-схемы, фотосхемы, фотоотпечатка в масштабе 1:1 или 2:1. На чертеже-схеме и фотосхеме контактные площадки могут быть изображены условно одной окружностью. Чертеж-схему, фотосхему или фотоотпечаток наклеивают на оригинал чертежа платы.

Постоянные данные чертежа, например, технические требования, таблицу отверстий, следует в печатывать с оригинала чертежа постоянной части. Формат конструкторского документа должен быть не более А2.

Автоматизированный метод предполагает кодирование исходных данных, размещение навесных элементов и трассировку печатных проводников производить при помощи ЭВМ. Такой метод обеспечивает высокую производительность труда при изготовлении чертежей. При автоматизированном методе конструктор разрабатывает чертеж-схему кодирования, содержащий номинальные значения размеров элементов конструкции платы.



## 2.4 Конструирование РЭС с использованием поверхностного монтажа

Поверхностный монтаж - это закрепление и монтаж электронных компонентов специальной конструкции непосредственно на поверхность монтажной платы. Главная особенность конструкции таких компонентов - отсутствие штырьковых и длинных планарных выводов. На замену им для присоединения к плате используют металлизированные торцы корпусов компонентов, матрица шариковых выводов на нижней поверхности корпуса компонента или настолько миниатюрные планарные выводы, что они лишь в незначительной мере увеличивают площадь платы.

Технику монтажа электронных компонентов на плоскую поверхность монтажной платы называют четвертой революцией в электронике после открытия электронной лампы, транзистора и интегральной микросхемы. Современная аппаратура отличается большой интеграцией и технологичностью, малым весом и высокой надежностью. Эти достижения в значительной степени обусловлены успехами в области технологии поверхностного монтажа. К основным преимуществам данной технологии относятся:

- повышение плотности монтажа ЭК на плате в 4-6 раз;
- уменьшение габаритов на 60% и снижение веса в 3-5 раз;
- повышение быстродействия и улучшение электрических характеристик, связанных с длиной выводов ЭК;
- упрощение автоматизации монтажа ЭК на платы, увеличение производительности процесса в десятки раз;
- снижение стоимости монтажа печатных узлов (ПУ) вследствие уменьшения трудоёмкости и использования меньшего числа простых плат с меньшими размерами и числом слоев;
- повышение виброустойчивости и вибропрочности ПУ в 2 раза;

- повышенная способность отвода тепла от кристаллов интегральных схем, что очень важно для безотказной работы аппаратуры;

- оборудование для технологий поверхностного монтажа проще, надежнее, обладает несравнимо большей производительностью и требует в два раза меньше производственных площадей по сравнению с оборудованием для монтажа в отверстия.

На рисунке 11 показана область использования технологии поверхностного монтажа.



Рисунок 11 - Область использования технологии поверхностного монтажа

### Дискретные пассивные компоненты.

Резисторы постоянные. Большинство постоянных резисторов - металлопленочные, изготовленные методами нанесения резистивной пленки на керамическое или алюминиевое основание (толстопленочные) или термическим испарением пленки (тонкопленочные) специальных сплавов (окислов металлов) на основание. Толстопленочные и тонкопленочные резисторы исполняются для безвыводных корпусов (рисунок 12).

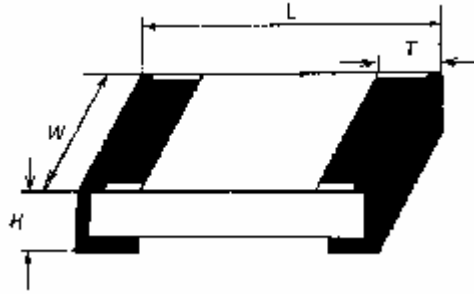


Рисунок 12 – Габаритные и присоединительные размеры толсто пленочного чип-резистора ( $L=1\pm 0,3$  мм;  $W=0,5\pm 0,2$  мм;  $H=0,35$  мм; ;  $T=0,2\pm 0,6$  мм)

Резисторы постоянные проволочные показаны на рисунке 13.

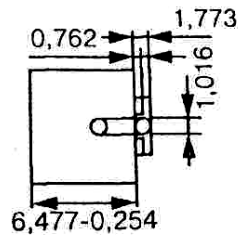


Рисунок 13 – Конструкция, габаритные и присоединительные размеры корпусов низкоомных резисторов

Общий вид, конструкция, габаритные и присоединительные размеры керметного резистора серии RVG4M58 представлен на рисунке 14.

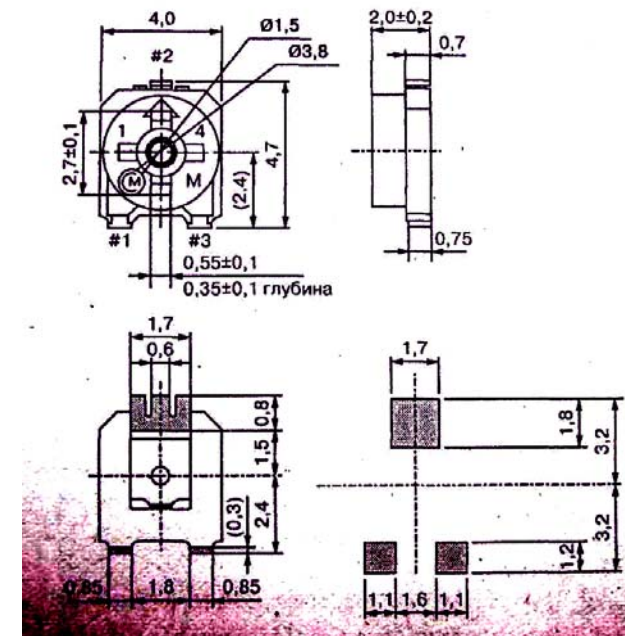


Рисунок 14 - Общий вид, конструкция, габаритные и присоединительные размеры керметного резистора серии RVG4M58

Общий вид, конструкция, габаритные и присоединительные размеры подстроенного углеродистого резистора серии POZ3AN представлены на рисунке 15.

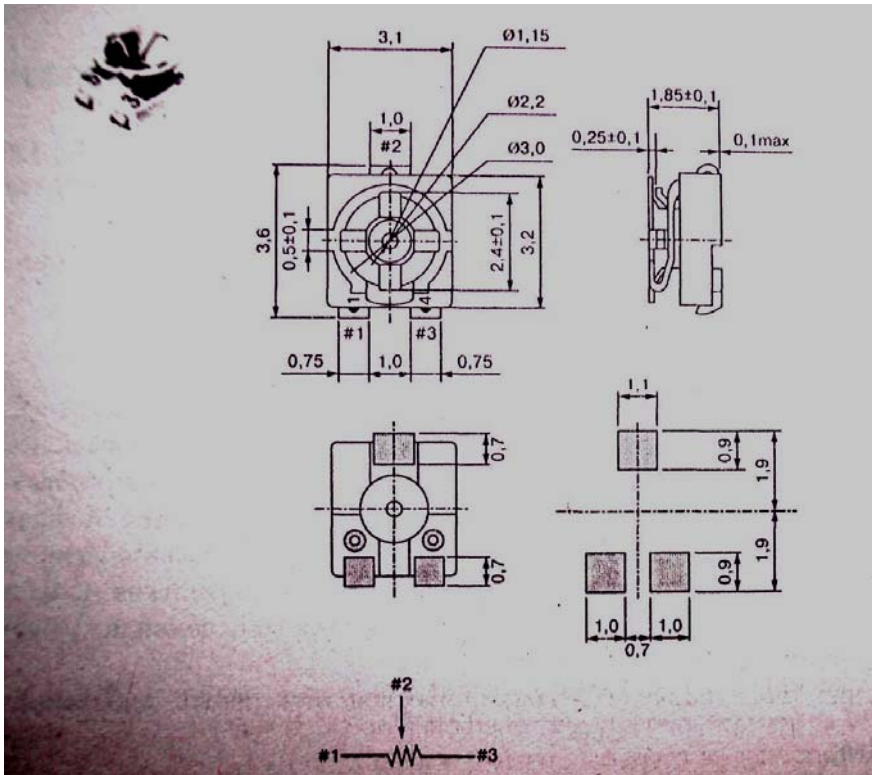


Рисунок 15 - Общий вид, конструкция, габаритные и присоединительные размеры подстроечного углеродистого резистора серии POZZAN

### Резисторы специального назначения.

В современной радиоэлектронике находят широкое применение специальные резисторы, принцип действия которых основан на зависимости изменения сопротивления от воздействия различных параметров (освещенности, приложенного напряжения, температуры, мощности).

**Фоторезистор.** Полупроводниковый резистор, изменяющий свое электрическое сопротивление к под воздействием внешнего светового излучения. Применяется в приборах и устройствах оптоэлектроники.

**Термистор.** Термистор (от «термо» и «резистор») - полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от колебаний температуры.

**Варистор.** Варистор (от «переменный» и «резистор») - специфический полупроводниковый резистор, сопротивление которого изменяется при изменении приложенного напряжения.

### Конденсаторы электролитические

Конденсаторы электролитические танталовые. Оксидно-полупроводниковые танталовые электролитические конденсаторы являются относительно новым развивающимся типом компонентов для поверхностного монтажа. Тип диэлектрика - твердый тантал, корпусирование осуществляется путем формовки из смолы.

Общий вид корпусов танталовых электролитических конденсаторов представлен на рисунке 16.

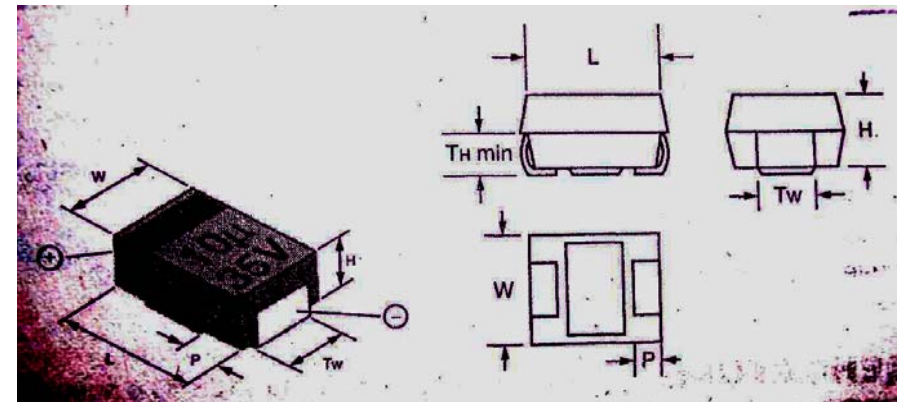


Рисунок 16 - Общий вид корпусов танталовых электролитических конденсаторов ( $L=0,287 \pm 0,012$ ;  $W=0,170 \pm 0,012$ ;  $H=0,158 \pm 0,012$ ;  $P=0,51 \pm 0,012$ ;  $Tw=0,095 \pm 0,004$ ;  $Th(\text{Min})=0,039$ )

Алюминиевые электролитические конденсаторы. Общий вид и габаритные размеры алюминиевых электролитических конденсаторов представлен на рисунке 17.

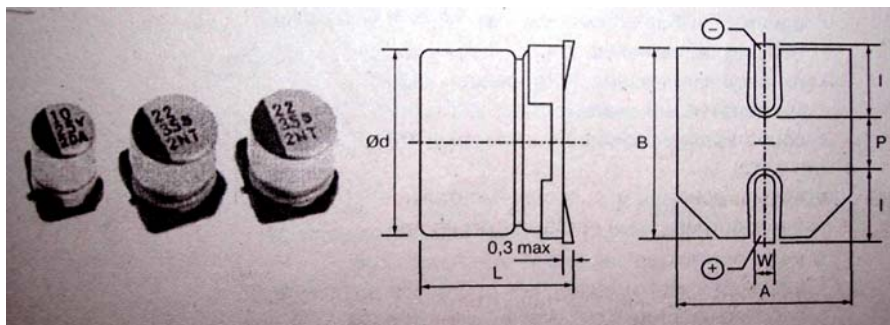


Рисунок 17 - Общий вид и габаритные размеры алюминиевых электролитических конденсаторов ( $\text{Ød}=4$ ;  $L=5,4$ ;  $A=4,3$ ;  $B=4,3$ ;  $I=1,8$ ;  $P=1$ ;  $W=0,5+0,8$ )

Конденсаторы подстроечные. Общий вид и габаритные размеры подстроечных конденсаторов представлен на рисунке 18.

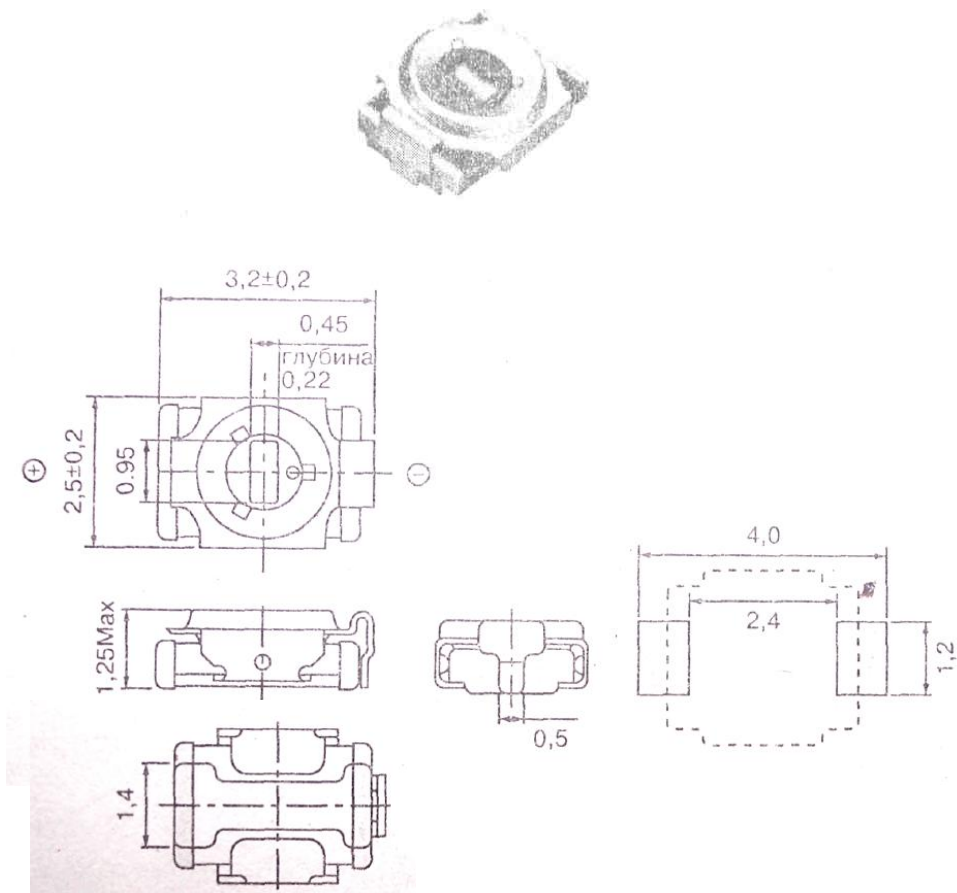


Рисунок 18 - Общий вид и габаритные размеры подстроечных конденсаторов

### Индуктивности для поверхностного монтажа

Конструктивное исполнение чип-индуктивности показано на рисунке 19.



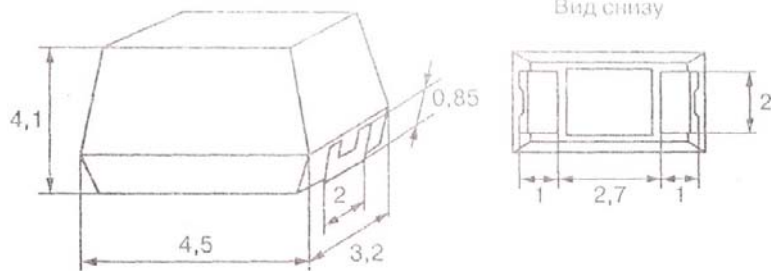


Рисунок 19 - Конструктивное исполнение чип-индуктивности

### Переключатели

Общий вид, габаритные размеры и геометрия контактных кнопочного микропереключателя типа SDTM представлена на рисунке 20.

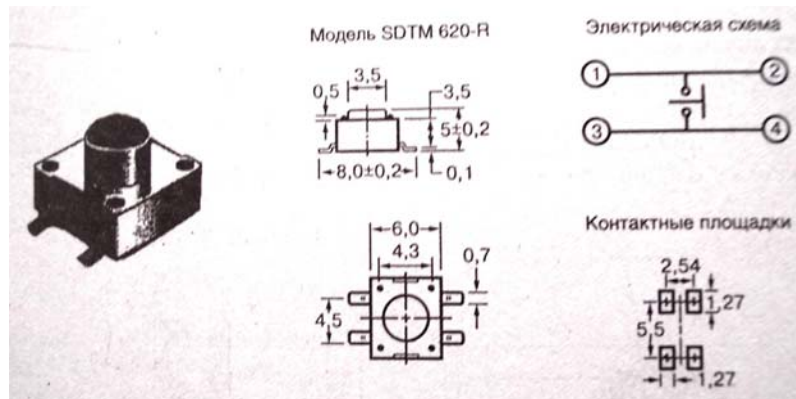


Рисунок 20 - Общий вид, габаритные размеры и геометрия контактных кнопочного микропереключателя типа SDTM

## 2.5 Материалы для коммутационных плат

Одним из отличительных качеств технологии монтажа на поверхность является необходимость широкого применения различных материалов для изготовления оснований плат. В числе других причин это связано с необходимостью обеспечения интенсивного теплоотвода при уменьшении массогабаритных показателей электронных компонентов и печатных узлов.

Все материалы, которые используются для этой цели, можно условно разделить на три группы.

1. Неорганические материалы.
2. Органические материалы.
3. Комбинированные материалы.

### Неорганические материалы плат.

Неорганические материалы обычно используются в толсто- и тонкопленочной технологии, они идеально подходят для монтажа выводных и безвыводных носителей кристаллов.

Платы из этих материалов включают толстопленочные или тонкопленочные резисторы и конденсаторы, которые увеличивают плотность компоновки и повышают надежность изделий. Однако ремонтпригодность таких плат ограничена. Керамические платы, особенно на основе окиси алюминия, идеально подходят для монтажа безвыводных кристаллоносителей из-за относительно высокой теплопроводности и низкого КТР. Максимально возможные размеры таких плат - 96x120 мм (11520 мм<sup>2</sup>), а их изготовление с недрогметалльными покрытиями (медью, никелем) открывает перспективы не только специального, но и коммерческого применения.

Керамические платы в настоящее время имеют два применения: керамические гибридные схемы и керамические печатные платы.

Платы обычно изготавливают из окиси алюминия с проводящими слоями, созданными по многослойной толстопленочной технологии. Керамические платы очень



надежны для узлов, в которых используется высокоплотное расположение безвыводных кристаллоносителей. Соответствие двух КТР обеспечивает плоскую и жесткую монтажную поверхность и хорошую теплопроводность.

Толсто пленочные схемы керамических плат требуют защиты от воздействия влаги, поэтому важным является обеспечение герметичности и механической прочности. Обычно для защиты используются стекла. Керамические платы площадью более 10 000 мм<sup>2</sup> требуют механического крепления. Обычно их присоединяют к держателю для установки соединителя и монтажной панели (шасси). Для достижения соответствия по КТП при выборе материалов требуется особая тщательность.

К керамическим печатным платам предъявляется ряд требований:

- хорошие изоляционные показатели;
- обеспечение прочной основы для печатных слоев и присоединяемых компонентов;
- сохранение стабильности размеров при температурах вжигания до 1000 °С;
- соответствие допускам на размеры, которые требуются при точной трафаретной печати – это касается как внешних размеров (особенно однородности плат по толщине), так и коробления, например изгиба;
- наличие малой и однородной шероховатости по всей площади;
- высокая теплопроводность для рассеяния тепла, которое выделяется при работе схемы;
- возможность формирования в плате отверстий для установки штифтов, выводов и т.д.;
- химическая и физическая совместимость с соответствующими стеклянными компонентами проводниковых, резистивных и диэлектрических композиций для обеспечения надежного сцепления толстых пленок с поверхностью плат;

- хорошая воспроизводимость при изготовлении - качество наносимых толстых пленок не зависит от материала платы, ее обработки или от физических различий между разными партиями выпускаемых плат.

Существуют два основных способа изготовления керамических плат - сухое прессование шликера и ленточное шликерное литье. Выбор способа в основном определяется соотношением ширины к толщине. Если эта величина превышает 20:1, прессование использовать не следует, так как из-за хрупкости и колебаний толщины плат при этом резко возрастает процент брака. В настоящее время можно изготавливать печатные керамические платы размером до 300х300х2 мм и более. Размер плат ограничивается размерами печей, используемых при их синтезе и нанесении металлизации и сборке.

Широкое практическое применение при поверхностном монтаже получили многослойные печатные платы на основе стеклотекстолита с медными проводниками, покрытыми слоем никеля и золота (~7 мкм).

Номенклатура материала для односторонних (ОПП), двухсторонних (ДПП), многотонных (МПП) и гибких плат (ГПП), проводниковых плат (ППП) и гибких печатных Абелей (ГПК) весьма широка.

Платы для поверхностного монтажа обладают повышенной плотностью размещения электронных элементов, меньшими расстояниями между проводниковыми элементами и контактными площадками. При проектировании минимизируются не только топология, размеры посадочных мест и их размещение, но и количество уровней металлизации печатной платы и число переходных отверстий, исполняющих роль межуровневых переходов. Шаг между контактными площадками должен быть минимальным, но достаточным для предотвращения их замыкания при дозированной пайке. Чрезмерное же уменьшение размеров контактных площадок может привести к снижению надежности паяных соединений,

не обеспечивая формирования качественных галтелей таких соединений «скелетной» формы.

Важно обеспечить одинаковость формы и размеров контактных площадок для монтажа каждого из компонентов. Невыполнение этого требования может приводить к смещению или даже подъему компонента на торец (эффект «надгробного камня» или «Манхэттенский эффект»). Контактные площадки под чип-компоненты, соединенные между собой, следует проектировать отдельно, связывая их узкой коммутационной дорожкой. Это позволяет предотвратить появление эффекта стягивания элемента при оплавлении паяльной пасты.

## 2.6 Проектирование узлов на печатных платах для поверхностного монтажа

Технологичность узлов при использовании монтажа на поверхность закладывается на этапе проектирования. Например, выбор конструкции со смешанным расположением электронных компонентов, предназначенных для монтажа на поверхность и в отверстия, с двух сторон печатной платы определяет номенклатуру и последовательность технологических операций процесса сборки и монтажа узла на печатной плате. Наиболее сложные интегральные схемы в этом случае располагаются с одной стороны платы. Вторая сторона предназначена для поверхностно монтируемых дискретных пассивных и активных элементов, позволяющих производить пайку окуноманием в расплавленный припой, а также отдельных элементов, например соединителей, которые устанавливаются и паяются вручную с обратной стороны платы. При пайке таких узлов волной припоя отверстия для монтажа штырьковых элементов должны быть закрыты бумажной маской, приклеенной с использованием флюса.

Варианты монтажа с применением компонентов представлены на рисунках 21, 22, 23, 24.



Рисунок 21 - Вариант монтажа с применением компонентов, только на одной стороне печатной платы



Рисунок 22 - Вариант монтажа, при котором устанавливаются компоненты на обеих сторонах платы

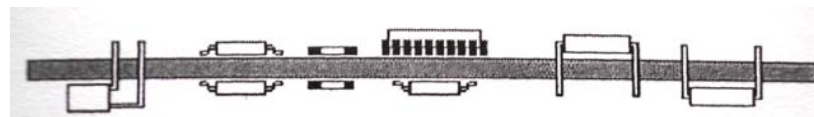


Рисунок 23 - Вариант монтажа, при котором устанавливаются компоненты на обе стороны платы

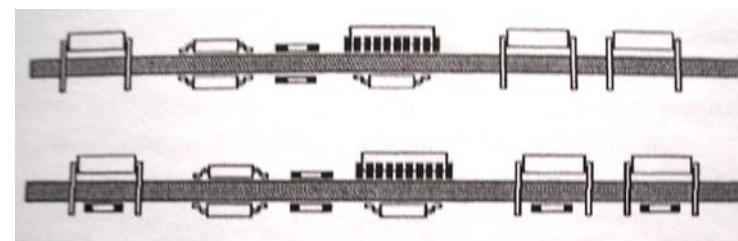


Рисунок 24 - Варианты монтажа, при которых компоненты ПМ устанавливаются на двух сторонах, а компоненты ОМ только на лицевой стороне платы

Для предварительного анализа размеров платы и размещения элементов необходима следующая информация:

- эскиз принципиальной схемы с перечнем элементов;
- физические и функциональные требования;
- конструкция корпуса каждого элемента;
- физические и электрические характеристики каждого элемента;
- предпочтительная конструкция узла.

Следует проанализировать и перерисовать предварительную схему для минимизации количества пересечений, размещения внешних выводов на краях платы в соответствии с выбранной конструкцией и для размещения компонентов в положении, которое они будут занимать. Все мощные компоненты должны быть, распределены равномерно, входы и выходы хорошо разделены. Особое внимание следует уделить исключению или уменьшению числа пересечений. Обычно их выполняют с использованием переходных отверстий, формированием перемычек после нанесения одного или двух слоев диэлектрика, либо увеличением числа уровней разводки и слоев платы. Все это увеличивает цикл изготовления схемы, повышает стоимость изделия в целом и вносит потенциальный механизм ненадежности. Типичный порядок выбора конструкции состоит из семи этапов.

1. Анализ условий эксплуатации, назначения, надежности, стоимости.
2. Анализ электрической схемы, перечня и параметров компонентов.
3. Выбор исполнения компонентов и определение их размеров.
4. Анализ мощности рассеяния компонентов.
5. Определение размеров платы.
6. Определение количества и оптимальной формы внешних выводов.
7. Выбор окончательного размещения компонентов и размеров узла.

Такой порядок основан на том предположении, что конструкция узла выбирается исходя из расчета физических требований схемы и входящих в нее компонентов. Однако часто размеры и форма узла заданы. В таких случаях работу следует производить в обратном порядке. Если размеры и форма узла известны, следует определить, можно ли поместить схему в выделенном пространстве, и какие условия для этого необходимы. При возникновении ограничений часто приходится производить несколько попыток оптимального

выбора платы и размещения схемы, тщательно рассматривать исполнение и размеры компонентов.

Реальное проектирование значительно сложнее, чем представленный выше порядок. Оно обусловлено многофакторностью задачи, необходимостью рассматривать большое количество переменных и взаимосвязи между ними. Такие часто противоречивые взаимосвязи усложняют выбор общего направления и простые правила оптимизации.

## **2.7 Конструктивные размеры поверхностно-монтажных компонентов согласно ГОСТ 20.39.405-84**

При разработке конструкции изделий с использованием технологии монтажа на поверхность (ТМП) применяются отечественные корпуса компонентов, конструктивные размеры которых определены ГОСТ 20.39.405-84: резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и микросхемы.

### **Конструкция навесных резисторов**

Навесные резисторы используют в тех случаях, когда в изделии для изготовления основы платы применяется материал типа стеклотекстолит.

Навесные резисторы - это безвыводные изделия с цилиндрической и прямоугольной (рисунок 25) формами корпуса. Согласно классификации ГОСТ 20.39.405-84 они принадлежат к XI конструктивно-технологической группе.

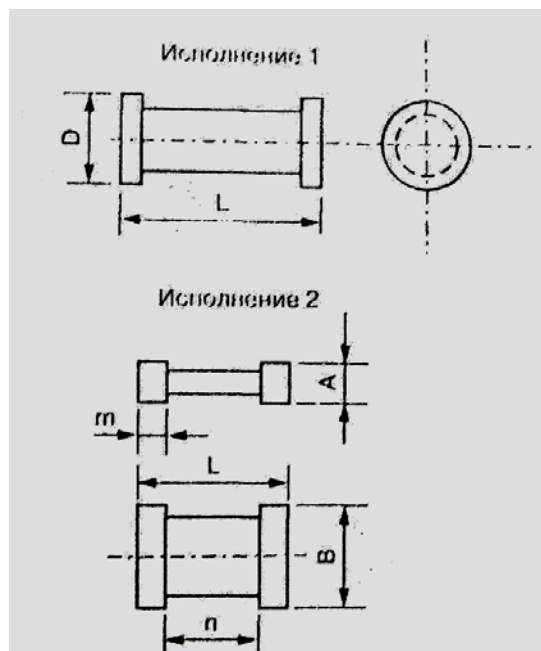


Рисунок 25 - Упрощенное изображение безвыводных резисторов для ТМП с цилиндрической (исполнение 1) ( $D=2,2$ ;  $L=5,9$ ) и прямоугольной (исполнение 2) ( $L=5,5$ ;  $B=4,0$ ;  $m=0,2$ ;  $n=3,2$ ) формами корпусов, исполненных согласно требованиям XI КТГ ГОСТ 20.39.405 84

**Пленочные резисторы.** Пленочные резисторы используют в тех случаях, когда для основы платы применяют следующие материалы: керамику, ситалы, металлы с диэлектрическим покрытием.

**Конструкции конденсаторов.** Конденсаторы, которые используют для ТМП - безвыводные изделия прямоугольной формы корпуса (рисунок 26).

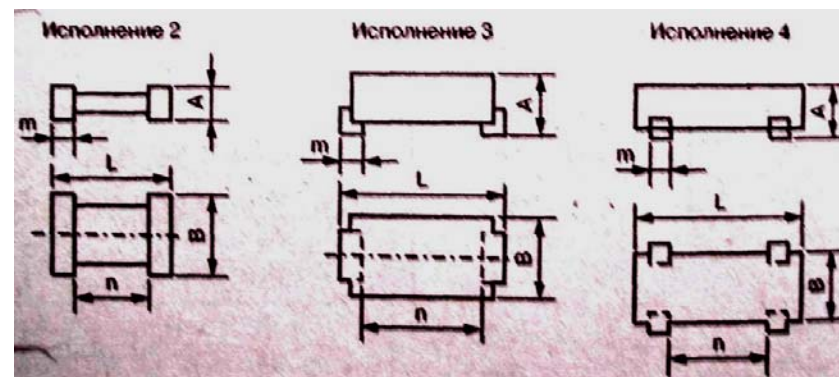


Рисунок 26 - Безвыводные полярные и не полярные конденсаторы с прямоугольной формой корпуса для ТМП, исполненные по XI КТГ ГОСТ 20.39.405-84 ( $L=2\div 8,5$ ;  $B=1,25\div 4,0$ ;  $m=0,2\div 1,0$ )

**Конструкция диодов, стабилитронов и варикапов.** Диоды, стабилитроны и варикапы — это изделия которые исполнены исходя из условий VIII, X, XI, XIV конструктивно-технологических групп ГОСТ 20.39.405.

Упрощенное изображение диодов, стабилитронов и варикапов представлено на рисунке 27.

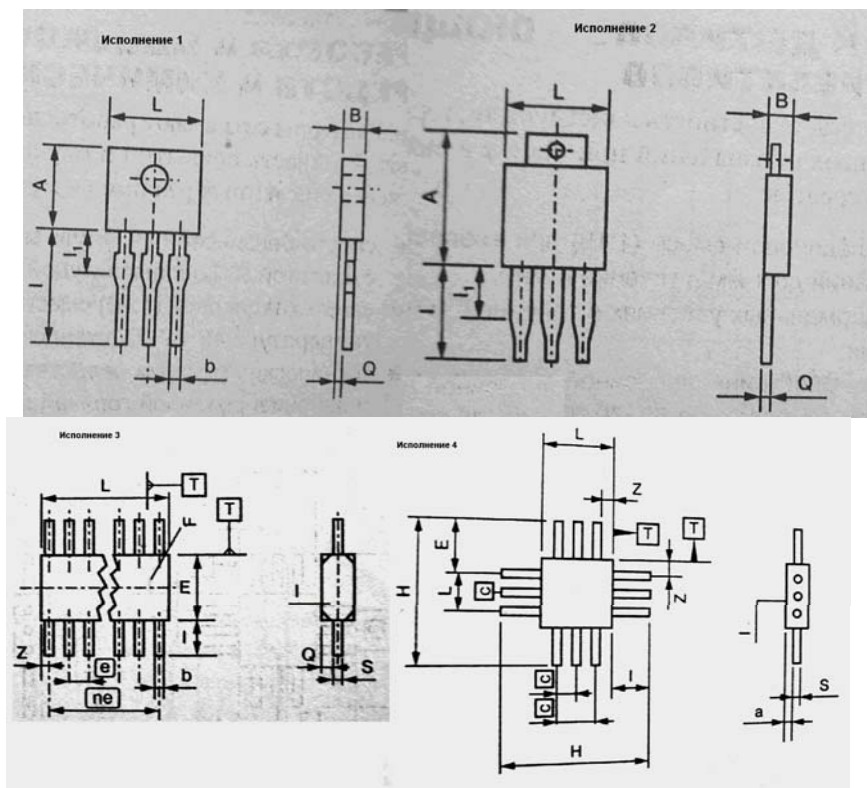


Рисунок 27 - Упрощенное изображение диодов, стабилитронов и варикапов по VIII КТГ ГОСТ 20.39.405

**Конструкции транзисторов.** Транзисторы, которые используют для ТМП - это изделия в миниатюрном пластмассовом корпусе с жестко ориентированными плоскими выводами. Согласно классификации ГОСТ 20.39.405-84 они отнесены в XIV конструктивно-технологическую группу. Упрощенное изображение конструктивных исполнение транзисторов показано на рисунке 28.

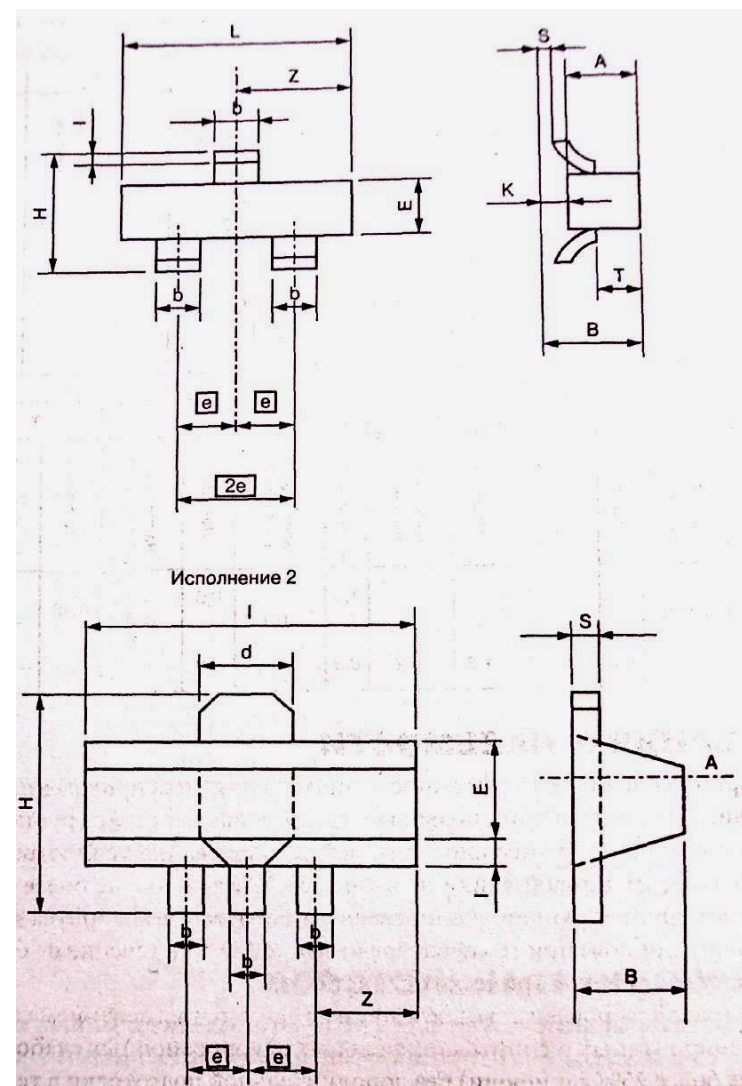


Рисунок 28 - Упрощенное изображение транзисторов в миниатюрных пластмассовых корпусах по XIV КТГ ГОСТ 20.39.405-84.

**Конструкции микросхем.** Микросхемы, которые применяют для ТМП, выполнены в соответствии с требованиями конструктивно-технологических групп ГОСТ 20.39.405-84.

Микросхемы конструктивно-технологической группы - это образцы в стеклокерамическом, пластмассовом, керамическом корпусах прямоугольной формы с двусторонним расположением выводов, которые требуют ориентации по полярности (рисунок 29, 30).

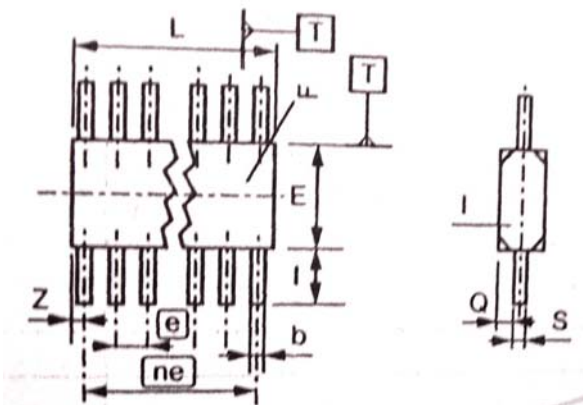


Рисунок 29 - Микросхемы в корпусе прямоугольной формы с двусторонним расположением выводов прямоугольного сечения, параллельного плоскости основания

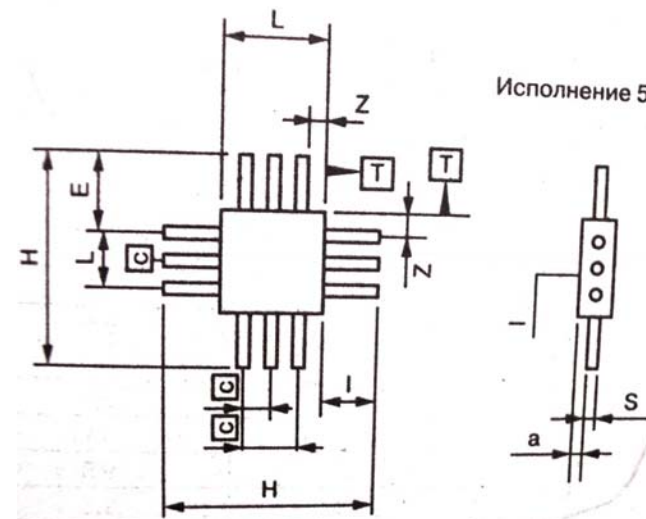


Рисунок 30 - Микросхемы в корпусе прямоугольной формы с выводами прямоугольного сечения с четырех сторон



Таблица 6 - Размеры и допустимые отклонения размеров

Количество выводов	L		E	
	мин,	макс,	мин,	макс,
8	5,0	5,4	3,6	4,0
10	6,3	6,7	3,6	4,0
10	7,1	6,7	6,1	6,5
12	9,3	7,7	3,6	4,0
14	9,3	10,0	6,1	6,5
14	9,3	10,0	6,3	6,7
16	9,3	10,0	6,1	6,5
16	9,3	10,0	6,3	6,7
16	11,0	10,0	9,1	9,5
16	11,0	12,0	9,1	9,5
16	11,0	12,0	11,9	12,0
18	3,8	11,6	9,1	9,5
18	5,0	12,5	11,4	12,0
20	6,3	12,5	9,1	9,5
20	6,3	12,5	11,4	12,0
20	7,1	13,0	11,4	12,0
22	14,1	14,8	9,1	9,5
22	14,1	14,8	11,4	12,0
22	14,1	14,8	14,1	14,8
24	14,1	14,8	9,1	9,5
24	14,1	14,8	11,4	12,0
24	16,4	19,0	11,4	12,0
24	15,0	15,6	11,8	12,2
24	14,1	14,8	14,1	14,8
24	15,0	19,0	17,7	18,3
24	15,0	15,6	18,0	19,5
24	17,5	18,3	17,7	18,3
28	17,3	18,0	11,4	12,0

Продолжение таблицы 6

28	19,0	19,5	11,4	12,0
28	17,7	18,3	12,1	12,7
28	17,5	18,0	15,9	16,5
28	17,5	18,3	17,7	18,3
32	20,0	20,7	12,1	12,7
32	20,0	20,7	18,0	16,5
34	21,2	22,0	22,7	23,3
40	25,0	25,8	12,1	12,7
40	26,1	27,0	12,8	13,5
40	25,0	27,0	15,9	16,5
42	26,0	27,0	12,8	13,5
42	25,0	27,0	15,9	16,5
42	26,0	27,0	18,9	19,5
48	29,7	30,7	12,1	12,7
48	29,7	30,7	12,8	13,5
48	29,7	30,7	14,1	14,8
48	29,7	30,7	15,9	16,5
64	39,7	40,7	19,4	20,0
64	39,7	40,7	22,5	23,3

## 2.8 Обозначение чертежей по ЕСКД

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) предназначена для обозначения изделий и конструкторских документов, а также практических рекомендаций по определению кода квалификационной характеристики (КХ) изделий.

ГОСТ 2.101-68 ЕСКД «Виды изделий» - все виды рассматриваются как предмет производства с точки зрения построения комплекта конструкторских документов для его производства и эксплуатации. Поэтому выпускаемые изделия

во всех отраслях промышленности классифицируются по четырем видам:

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

Обозначение основного конструкторского документа (чертежа детали или спецификации) включает: код организации разработки (четыре знака), код классификационной характеристики (шесть знаков), код порядкового регистрационного номера чертежа (три знака). Код разработчика – это сочетание различных заглавных четырех букв или цифр), он определяется министерством. Для нашей специальности буква «Р» (радисты), далее фамилия, имя, отчество, т.е. РСАА. По классификатору ЕСКД обозначение конструкторского документа представляет собой шестизначное число, последовательно обозначающее класс (первые два знака), подкласс, группу, подгруппу, вид по одному знаку и номер чертежа – три знака, индекс обозначения для графы документация.

Например: класс 46 – средства радиоэлектронные управления, связи, навигации и вычислительной техники. Подкласс 4 – радиоприемопередающие, группа 3 – приёмные, подгруппа 2 – вещательные, вид 8 – бортовые, т.е. РСАА.464328.001.



Рисунок 31 - Структура обозначения кода классификационной характеристики

Классификатор ЕСКД построен по иерархическому десятичному методу, основанному на логическом делении классифицируемого множества. Все множество изделий разделено на группы классов: классы изделий по видам техники, классы изделий общемашиностроительных, классы деталей.

При классификации изделий в классах классификатора использованы, в основном, следующие признаки:

- функциональный (основная эксплуатационная функция, выполняемая изделием), для сборочных единиц, комплектов, комплексов;
- конструктивный (конструктивные особенности изделия);
- принцип действия (физический, физико-химический процесс, на основе которого действует изделие);
- параметрический (величина и степень точности рабочих параметров изделия: основные размеры, мощность, напряжение, сила тока, частота и др.);
- геометрическая форма (внешнее очертание, характер взаимного расположения поверхностей и др.);
- наименование изделий.



Наиболее общие признаки верхних уровней классификации конкретизируются на последующих уровнях.

Для рационального пути отыскания необходимого класса классификатора ЕСКД все классы объединены в несколько групп по отраслевой принадлежности или специализации производства:

- радиоэлектронные (классы 46, 43);
- электротехнические (52, 56, 64, 65, 67, 68);
- приборостроительные (20, 40-42, 94);
- общемашиностроительные (71 -76, 30, 31);
- технологические (04, 28, 29, 44).

К первой, основной, для нашей отрасли группе относится «Радиоэлектронные». В классе 46 «Средства радиоэлектронного управления, связи, навигации и вычислительной техники» классификатор ЕСКД расклассифицированы все разработанные в стране радиоэлектронные средства (РЭС).

В отличие от других классов сетка подклассов и групп класса 46 дополнена графой, имеющей наименование «Признаки функционально – конструктивной сложности средств». По этому признаку все классифицируемые изделия класса 46 подразделяются на:

- РЭС - системы, комплексы, устройства (подклассы 461000 - 466000);
- составные части радиоэлектронных средств функциональные в модульном и не модульном исполнении (подклассы 467000 - 468000);
- составные части РЭС функциональные, т.е. «промежуточные сборки» (подкласс 496000).

Такое деление на подклассы значительно облегчает отыскание составных частей и их КХ. Так, например, печатные платы в сборе с электрорадиоизделиями (подкласс 469000).

При классификации изделия класса 46 в основном используются «функциональный» и «конструктивный» признаки.

Изделиям, не имеющим функционального назначения, наименование присваивается исходя из конструкции изделия: шкаф, блок, ячейка и т.д.

Пример - найти код КХ одноканального вторичного источника электропитания (ВИП)  $P = 10$  Вт с постоянным стабилизированным напряжением на выходе 100 В, питаемого от однофазной сети переменного тока.

В классе 43 по сетке подклассов и групп определяем, что ВИП относится к подклассу 436000 «Системы и источники вторичного электропитания». Рассматриваемый ВИП классифицируется в группе 436200 «ВИП одноканальные с входным переменным однофазным напряжением».

По КТ подгрупп и видов определяем подгруппу 436230 «с выходным постоянным стабилизированным напряжением» и вид 436231 «с выходными параметрами:  $P$  до 10 Вт, напряжением до 100 В вкл.».

К группировкам классов «Приборостроительные» и «Электротехнические» относятся классы 40 - 42, 67, 68, также имеющие довольно широкое применение на предприятиях радиотехнической промышленности.

Пример - найти код КХ согласующего трансформатора высокочастотного. Основной признак, по которому классифицируются трансформаторы – назначение. По назначению они делятся на силовые и сигнальные.

В классе 67 находим трансформаторы в группировке «Электротехнические», по сетке подклассов и групп определяем, что трансформатор относится к подклассу 671000 «Трансформаторы, реакторы (дрессели), усилители магнитные, стабилизаторы магнитные малой мощности», к группе 571100 «Трансформаторы питания сигнальные». По КХ подгрупп и видов определяем подгруппу 671140 «Трансформаторы сигнальные согласующие» и вид «Высокой частоты».

Если оценивать классы изделий по ЕСКД, то безусловно, класс 46 является основным. При проектировании РЭС он охватывает системы, комплексы, устройства всех РЭС

(приемопередающих, телевизионных, вычислительной техники, проводной связи и др.) и, что очень важно, их составные части.

При определении кода классификационной характеристики различным изделиям (детали, сб. единицы, комплексы и комплекты) наиболее трудной задачей является определение этой характеристики класса 71 - 76 «Детали». Это связано с множеством их форм, параметров, конструкций и др. признаков.

В классификаторе ЕСКД имеется пять классов деталей (71-75), класс 76 - детали инструмента, где на первом уровне классификации применен признак «геометрическая форма», который является наиболее объективным и стабильным признаком при ее описании.

Множество деталей в этих классах разделено по геометрической форме на три подмножества:

- детали - тела вращения (кл. 71, 72),
- детали - не тела вращения (кл. 73, 74),
- детали - тела вращения и (или) не тела вращения (кл. 75).

«Геометрическая форма» конкретизируется на последующих уровнях классификации по следующим признакам: параметрический, конструктивный, служебное назначение, наименование детали. Конструктивный признак - характеристика отдельных элементов детали, их взаимное расположение, по которым конкретизируют геометрическую форму.

Параметрический признак используется в классе 71 и в пределах класса 74 и 75. Наименование детали используется в качестве классификационных признаков, когда деталь понимается однозначно во всех отраслях техники (колесо зубчатое, рычаг, пружина и т.п.).

Итак, определение класса детали является исходным моментом в процессе отыскания ее квалификационной характеристики.

Каждый класс изделий содержит алфавитно-предметный указатель (АПУ) изделий, где в алфавитном порядке наименований изделий даны коды КХ.

Одной из составных частей при выполнении некоторых лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов, являются печатные платы (ПП). Они относятся к классу 75. По иллюстрированному определителю детали класса 75 на стр. 98 - 101 находим печатные платы на жестком основании, платы микросхем микрополосковые, но нет ПП на гибком основании. Здесь приведены только одно- и двухсторонние ПП на жестком основании, их полная квалификационная характеристика дана в классе 75. Детали – тела вращения и (или) не вращения (стр. 124 - 125).

Основным фактором при определении квалификационной характеристики является зависимость от ширины платы, т.е. «геометрический» размер. Нет в классе 75 и многослойных ПП. Они помещены в класс 68 «Оборудование электротермическое, монтаж механический». В подклассе: устройства электромонтажные. Монтаж механический, в группе: элементы электромонтажные по АПУ находим код КХ 687240 - 687290 (стр. 80, 81). Там же приведены КХ кассет, блоков, панелей печатных плат.

## **2.9 Особенности исследовательских курсовых проектов**

Курсовые проекты исследовательского профиля связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области конструирования РЭС. В качестве примерных тем курсовых проектов исследовательского профиля могут быть следующие:

- разработка оптимального типоразмерного ряда БНК блоков самолетной РЭС;
- разработка оптимального типоразмерного ряда радиаторов для теплонагруженных приборов радиоаппаратуры;
- исследование различных способов закрепления печатных плат с целью обеспечения защиты ячеек РЭС от вибрационных и ударных воздействий;

- исследование различных конструктивных вариантов экранов с целью обеспечения защиты РЭС от внешнего электромагнитного поля;

- исследование различных конструктивных вариантов кожухов с целью обеспечения нормального теплового режима РЭС;

- исследование и разработка алгоритмов автоматизированной трассировки межстрочного монтажа с помощью ленточных кабелей;

- пути миниатюризации гибридно-интегральных схем (ГИС) СВЧ-устройств;

- пути повышения эффективности систем источников вторичного электропитания бортовой РЭС. Примерное содержание пояснительной записки курсового проекта исследовательского профиля:

- раскрытие темы проекта, формулирование и обоснование основной задачи исследования, его актуальность;

- обзор состояния по литературным источникам, возможные направления решения задачи исследования;

- теоретические исследования, выводы основных закономерностей и соотношений. Оптимизация конструкций с помощью современных статистических и других методов, а также методов, базирующихся на использовании ЭВМ с целью повышения эффективности конструкций радиоаппаратуры;

- методический план экспериментальных исследований, необходимое оснащение и его назначение при проведении экспериментов, описание экспериментальной установки;

- обобщение данных экспериментальных и теоретических исследований, их сопоставление с расчетными. Общие выводы по результатам исследований и их применимость при проектировании РЭС;

- определение экономической эффективности внедрения результатов исследования при проектировании конструкций радиоаппаратуры.

Пояснительная записка курсового проекта исследовательского профиля содержит не более 50 страниц.

Графическую часть проекта исследовательского профиля определяет руководитель проекта при составлении задания на проектирование, однако, ее объем должен быть не менее трех листов формата А1. На листы могут выноситься:

- эскизы исследуемых конструкции РЭС;

- таблицы результатов расчета или замеров параметров РЭС;

- распределение температурного или электромагнитного поля исследуемых РЭС;

- графики изменения температуры в зависимости от конструктивных решений разрабатываемого РЭС;

- частотные характеристики конструкций, исследуемых на вибрационные воздействия (рисунок 32, 33).

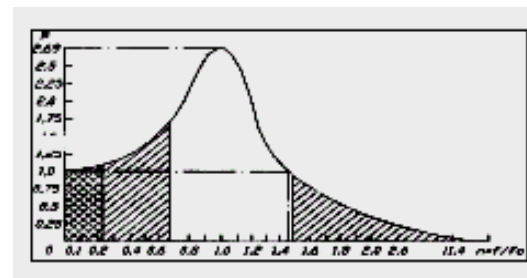


Рисунок 33 - Зависимость коэффициента динамичности от собственной частоты ПП

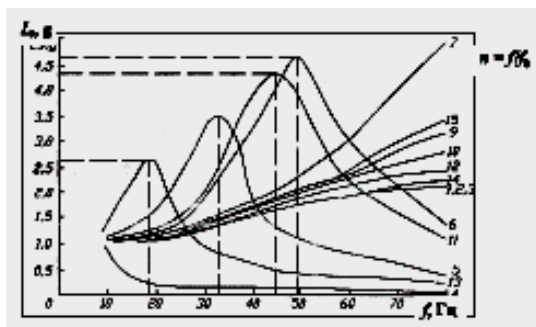


Рисунок 33 - Зависимость вибрационной перегрузки в определенном частотном диапазоне вибрационных воздействий от различных способов закрепления ПП

### 3 Последовательность курсового проекта

#### 3.1 Методология проектирования конструкций РЭС

Современный инженер решает задачу проектирования РЭС эвристическими методами в непосредственном взаимодействии с ЭВМ в рамках широко применяемых диалоговых Систем. В диалоге с ЭВМ осуществляется принцип комбинаторики. С помощью ЭВМ эффективно проводится выбор решения из множества вариантов, которое с большой вероятностью близко к оптимальному. Система эвристических методов, содержащая множество правил, рекомендаций и программ, позволяет принять решение в процессе проектирования РЭС. Процесс принятия решения состоит из следующих основных этапов:

- выявление проблемы;
- постановка задачи;
- поиск решения;
- принятие решения;
- выполнение решения;
- оценка полученного результата.

При курсовом проектировании перед студентом обычно стоит задача подобрать пригодные для сравнения варианты технического решения поставленной задачи, выбрать и доработать какое-либо одно техническое решение. Далее будут подробно рассмотрены основные аспекты этой задачи - задачи поиска и выбора технического решения.

Выполнение курсового проекта заканчивается разработкой конструкторской документации. Следует отметить, что главной задачей процесса конструирования является создание высокоэффективной РЭС. Особое место в оценке эффективности РЭС занимает комплексная микроминиатюризация. Микроминиатюризация - это системный подход к проектированию аппаратуры с применением ИС, БИС поверхностного монтажа, облегченных высокопрочных материалов, функциональной электроники и

т.д. Нужно стремиться к тому, чтобы все составные части РЭС, в том числе СВЧ-устройства, источники вторичного электропитания, электромеханические устройства, имели минимальные габариты, массу и энергопотребление.

В процессе проектирования РЭС необходимо учитывать множество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых технических требований, предъявляемых к конструкции отдельных устройств и РЭС в целом. Такими требованиями являются:

- назначение и область применения РЭС;
- заданные электрические характеристики (рабочие частоты, быстродействие, мощность, точность и др.);
- условия эксплуатации (диапазон рабочих температур, влажность, удары, вибрации и т.д.);
- конструкционные параметры (масса, габариты, надежность, тепловые режимы и т.д.);
- технико-экономические характеристики (стоимость, технологичность, унификация и стандартизация);
- организационно-производственные факторы (сроки разработки РЭС, серийноспособность и др.);
- наличие и уровень элементной базы.

### **3.2 Анализ существующих конструкций и выбор метода конструирования**

При выполнении курсового проекта в качестве исходного материала студент имеет расширенное ТЗ и электрическую принципиальную схему изделия. С анализа и уточнения ТЗ, электрической принципиальной схемы и заданной элементной базы начинается непосредственная работа над конструкцией изделия.

Студент должен тщательно изучить электрическую принципиальную схему изделия, обратив особое внимание на следующие вопросы:

- параметры распространяющихся в схеме радиосигналов (максимальная частота, напряжение, сила токов, длительность и скважность импульсов и т.д.);
- возможность возникновения в схеме паразитных связей и наводок (через общее сопротивление источника электропитания, индуктивные и емкостные);
- пути распространения полезного радиосигнала;
- напряжение и сила тока источников электропитания;
- допустимые уровни напряжений и токов сигнала помехи на входах ИС.

При этом одновременно производится анализ элементной базы изделия, для чего все входящие в схему компоненты вместе со своими техническими параметрами целесообразно представлять в виде таблицы.

Существующие методы конструирования РЭС подразделяются на три взаимосвязанные группы (рисунок 34):

- по видам связей между элементами;
- по способу выявления и организации структуры связей между элементами;
- по степени автоматизации конструирования РЭС зависит от назначения аппаратуры и ее функций, преобладающего вида связей, уровня унификации, автоматизации и т.д.

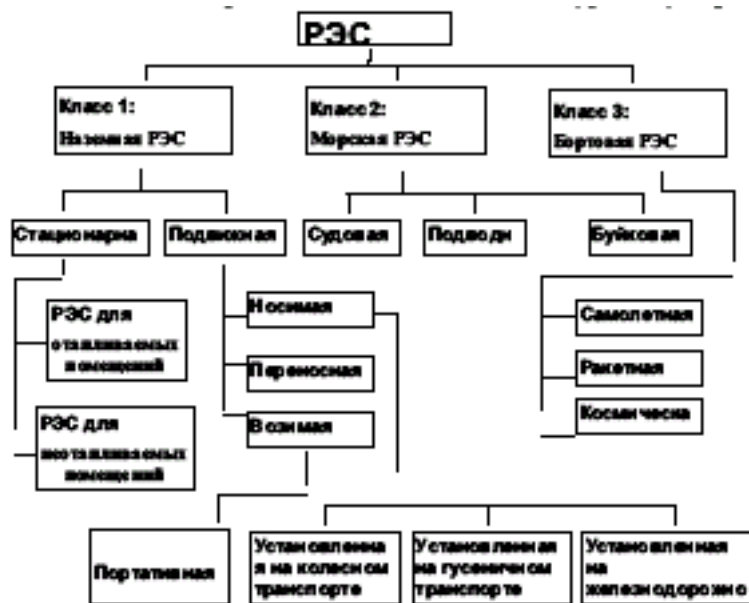


Рисунок 34 - Классификация РЭС по месту размещения

Так, при конструировании устройств с применением ИС используют:

- топологический метод (преобладают физические связи);
- функционально-модульный (в качестве функциональных модулей используются ИС);
- автоматизированный (размещение ИС на плате, трассировка соединений выполняется с помощью ЭВМ).

В свою очередь ИС конструируются методами топологии с применением автоматизации. Таким образом, существует определенная взаимосвязь и последовательность применения перечисленных методов конструирования, которая состоит, во-первых, в выявлении видов связей между деталями и элементами, во-вторых, в определении структуры и числа (с точки зрения избыточности) связей между элементами и, в-третьих, в определении возможности или невозможности автоматизации выявления и организации структуры связей между деталями и элементами.

Рассмотрим кратко сложившиеся методы конструирования РЭС. На рисунке 35 приведена классификация видов связей в РЭС.

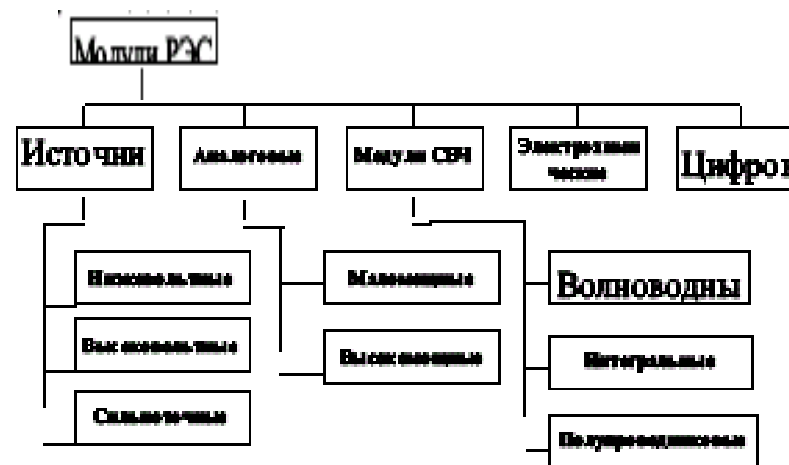


Рисунок 35 - Классификация видов связей в РЭС

**Геометрический метод.** В основу метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных точек, число и размещение которых зависит от заданных степеней свободы и геометрических свойств твердого тела.

Принцип геометрического метода исходит из основных положений геометрии. Любая точка, расположенная в пространстве, обладает тремя степенями свободы. Тело же имеет шесть степеней свободы. Применение геометрического метода к конструированию РЭС приводит к следующим основным положениям.

Геометрический метод конструирования целесообразно применять для конструкций, в которых должно соблюдаться точное взаимоположение деталей или обеспечиваться их точное перемещение.

**Машиностроительный метод.** В основу этого метода конструирования положена структура механических связей между элементами, представляющая собой систему опорных поверхностей. Машиностроительный метод используется для конструирования устройств и элементов РЭС, которые несут большие механические нагрузки и в которых неизбежны вследствие этого большие деформации. При этом точечные опоры, принятые в геометрическом методе, оказываются нецелесообразными, так как могут перегружаться, поэтому их заменяют опорными поверхностями. Характерные черты машиностроительного метода конструирования следующие:

- применение опорных поверхностей вместо опорных точек;
- обеспечение точности движения и взаимного расположения деталей за счет высокой степени точности их изготовления.

**Топологический метод.** В основу метода положена структура физических связей между ЭРЭ. Топологический метод, в принципе, может применяться для выявления структуры любых связей, однако конкретное его содержание проявляется там, где связности элементов может быть сопоставлен граф. Основные черты топологического метода следующие:

- использование свойств для размещения элементов и ориентации их в пространстве для трассировки линий связи и средств их соединения с элементами.

Таблица 7 - Применение методов проектирования РЭС

Метод конструирования	Области применения метода в процессе проектирования РЭС
Геометрический	Проектирование подвижных соединений, фиксаторов, арретиров, элементов кинематической схемы
Машиностроительный	Проектирование несущих конструкций блоков, ячеек, ПП
Топологический	Компоновка РЭС, размещение ЭРЭ на плате, трассировка электрических соединений

Топологический метод конструирования применяется, в первую очередь, для создания пленочных ИС, ПП, гибких печатных соединителей. В таблице приведены области конструкторских работ, использующие те или иные методы конструирования.

**Метод проектирования моноконструкций** основан на минимизации числа связей в конструкции и применяется для создания функциональных узлов, блоков, РЭС на основе оригинальной несущей конструкции в виде моноузла (моноблока) с оригинальными элементами. Разработка моноконструкций РЭС связана с многочисленными трудностями и имеет ряд недостатков, а именно: значительное время конструирования и внедрения в серийное производство, ограниченные возможности типизации и унификации, недостаточно высокая надежность, низкая степень

ремонтпригодности, сложность внесения изменений в электрическую схему без переделки конструкции, значительная стоимость разрабатываемых и изготавливаемых конструкций.

**Базовый (модульный) метод конструирования.** В основу метода положен модульный принцип проектирования. Деление базового метода на разновидности связано с ограничениями, схемной и конструкторской унификацией структурных уровней (модулей, функциональных узлов, блоков). Базовый метод является основным при проектировании современной РЭС, он имеет много преимуществ по сравнению с методом моноконструкций:

- на этапе разработки позволяет одновременно вести работу над многими узлами и блоками, что сокращает сроки проведения разработок; упрощает отладку и сопряжение узлов в лаборатории, так как

- работа любого функционального узла определяется работой известных модулей; резко упрощается конструирование и макетирование; сокращает объем оригинальной конструкторской документации, дает возможность непрерывно совершенствовать аппаратуру без коренных изменений конструкции;

- упрощает и ускоряет внесение изменений в схему, конструкцию и конструкторскую документацию;

- на этапе производства сокращает сроки освоения серийного производства аппаратуры; упрощает сборку, монтаж, снижает требования к квалификации сборщиков и монтажников; снижает стоимость аппаратуры благодаря широкой механизации и автоматизации производства; повышает степень специализации производства;

- при эксплуатации повышает эксплуатационную надежность РЭС, облегчает обслуживание, улучшает ремонтпригодность аппаратуры.

### 3.3 Электрические соединители

Классификация и выбор электрических соединителей и монтажа.

Одними из самых ненадежных элементов РЭС являются электрические соединители (разъемы), которые составляют до 15% всех отказов. Входная надежность по ТУ находится в пределах от  $5 \cdot 10^{-8}$  до  $3 \cdot 10^{-8}$  г-1 при  $p=0,6$ . Поэтому правильный их выбор является непростой задачей [12].

Исходными данными для выбора электрических соединителей контактного типа, режимов и условий его эксплуатации являются нормы электрических и конструктивных параметров, предельные значения допустимых электрических параметров и режимов эксплуатации указанных в ТУ.

В зависимости от вида соединяемых цепей, электрические разъемы подразделяются на пять основных групп:

1. Низковольтные и низкочастотные с частотой до 3 МГц и напряжением до 1,5 кВ.
2. Высокочастотные низкочастотные разъемы до 1,5 МГц и выше 1,5 кВ.
3. Радиочастотные, для цепей переменного и импульсного тока с частотой до 20 ГГц.
4. Импульсные с длительностью импульса до единиц наносекунд.
5. Комбинированные, имеющие контакты для соединения всех видов цепей.

Для низкочастотной аппаратуры наиболее важными из электрических параметров являются максимальные коммутирующие токи и напряжения, для СВЧ- согласование волновых сопротивлений коммутируемых линий.

Наибольшее распространение для электрического соединения кассет и ячеек с блоком получили соединители типа ГРПМ с гипербаллоидными малогабаритными разъемами, которые имеют прямоугольные контактные пары. Они рассчитаны на рабочие напряжения до 250 В и токи до 3 А, не



менее 1000 соединений-разъединений, и в зависимости от модификации имеют от 30 до 122 контактов. ГРПМ1 - для печатного монтажа, ГРПМ2 - для объемного (проволочного) монтажа.

Для внешних соединений низкочастотных цепей широко используются соединители типа 2РМ – малогабаритные, цилиндрические. Они выпускаются в большом количестве различных типоконструкций, вплоть до высокогерметичных, рабочим напряжением до 700 В и максимальным током до 3 А, с рабочей температурой от 60 °С до +200 °С.

Согласно ГОСТ 17468-76 в редакции 1980 г. условные обозначения РЧ и комбинированных соединителей состоят из буквенных и цифровых элементов. Соединители общего назначения НЧ с напряжением до 1,5 кВ имеют обозначение ОН, а комбинированные - ОК. Третья буква обозначает вид соединителя: Ц и ц – цилиндрические, П и п - прямоугольные, соответственно для объемного и печатного монтажа, т.е. ОНЦ и ОНП, ОНц и ОНп, а комбинированные - ОКП и ОКп.

Способ соединения ответных частей: Б – байонетный, Р - резьбовой; В - врубной; Н и К – соответственно непосредственное и косвенное сочленение с печатной платой.

Обозначение габаритных размеров: Н – нормальных габаритов; Г - малогабаритные; С – субминиатюрные, М – микроминиатюрные; К – суперминиатюрные.

Примеры условных обозначений:

Соединитель ОНЦ-БГ-2-45/39-Р11 - НЧ цилиндрический для объемного монтажа, байонетный малогабаритный, второго номера разработки (номер типоконструкции, для цилиндрических с 1 - 20, для прямоугольных с 21 - 53 номер, с числом контактов - 45, с условным размером 39, розетка кабельная без кожуха, всеклиматического исполнения.

Соединитель ОНп-ВГ-7-48/94х15-В53-В прямоугольный общего назначения для печатного монтажа, врубного соединения, малогабаритный, седьмого номера разработки, 48-контактный с размерами изолятора (корпуса) 94х15, В - вилка типоконструкции 53, В – всеклиматического исполнения.

В соединителях ОКП указывается число НЧ и ВЧ контактов (60НЧ и 1ВЧ).

Радиочастотные соединители состоят из букв СР и цифр 50 или 75 - значение волнового сопротивления - Ом.

СР-75-110Ф: 1 - номер разработки, соединение 1-100 – байонетное, 101 - с резьбовым соединением, 501-700 вырубным.

Буква обозначает вид изоляционного материала опорой шайбы (П - полиэтилен, К - керамика, Ф – фторопласт).

Подробные сведения о соединителях даны в справочнике [12], где приводятся параметры и характеристики 200 различных электрических соединителей для специальной и бытовой техники, и практически охватывают все области конструкций РЭС.

При выборе соединителей, кроме удобства компоновки, необходимо учитывать, что цилиндрические соединители более устойчивы по сравнению с прямоугольными к воздействию климатических и механических факторов, по способу удобства монтажа, по контактному сопротивлению (0,01 Ом), его нестабильности при механических нагрузках. Главное направление - замена механических разъемов оптоэлектроникой, т.е. соединение жгутов оптических волокон.

В процессе выполнения компоновки необходимо определить разновидность монтажа проектируемого устройства и предусмотреть для него дополнительное пространство. Тип внутриблочного электрического монтажа определяется используемой элементной базой, рабочим диапазоном частот, вариантом конструкции модуля и условиями эксплуатации [13].

К электромонтажу можно отнести следующие конструктивные элементы:

- одно- и многослойный печатный монтаж;
- провода, кабели и материалы для монтажа;
- элементы крепления провода, жгута, кабеля;
- элементы экранирования и заземления;
- соединительные элементы электрического монтажа;
- монтажные соединения узлов и блоков РЭС.

Для внутриблочного электромонтажа РЭС из монтажных проводов рекомендуется использовать провода марок МГШ, БЦВЛ, МГШВ, для неподвижной или жесткой прокладки – медные многожильные со шланговой изоляцией из полихлорвинила, полиэтилена марок ПРГ, ПРД и др. Для соединения вне блока используют кабели марок МКШ, РПКЭ, РПШЭ и др.

Для питания высоковольтных элементов аппаратуры применяют провода марок ПВЛ-2, ПВЛЭ-1, ПВС-5 с усиленной изоляцией и рабочим напряжением до 20 кВ.

В микронэлектронной аппаратуре используются плоские кабели, ленты фольгированного лавсана (ленточные кабели) марок ЛФ и ЛФЭ с количеством жил 4...32 штуки и их сечением от 0,03 до 0,5 мм<sup>2</sup>.

Требования к монтажу проектируемого изделия являются требованиями, сформулированными в ТЗ.

### **3.4 Выбор материалов, покрытий и шероховатостей поверхностей**

Материалы несущих конструкций необходимо выбирать с учетом удельной прочности и жесткости.

Для металлических деталей, корпуса кромки, каркаса, изготавливаемых методом литья под давлением, наиболее часто применяют алюминиевые сплавы АЛ-2, АЛ-9, АК-12 (АЛ-2), АК-7ч и (АЛ-9); магниевые сплавы МЛ5, МЛ6; латуни ЛС-59-1Л, ЛК-80-3Л. Для деталей, к которым предъявляются повышенные механические требования, используют механическую углеродистую сталь 45Л, чугун линейный, легированную сталь 40хЛ.

Для деталей РЭС, изготавливаемых методом штамповки, применяют сплав 10 КП, обладающий высокой пластичностью и вязкостью, алюминиевые сплавы АМЦ, Д16, магниевые сплавы М1, титановые сплавы ВТ1, ВТ5 и др.

В настоящее время широкое применение нашли различные пластмассы. Для корпусов и несущих конструкций используются литевыми материалы: полимер МА6-210/310, М6-210-ДС, сополимер МСН, ударопрочный полистирол УПМ-0612Л-06, сополимер АБС-2020-30; пресс материалами: фенопласт СП1-342-02, АГ-4В, ДСВ-4-П и другие. Для изготовления небольших деталей (стойки, втулки корпуса носимых РЭС) полиэтилен 209-23209-23, 158-14, полифинилоксид арилокс 2112. Для изготовления каркасов катушек индуктивности поликар ПК-ЛЭ-7,0, ПК-VRС. Керамический материал У1В-6, фторопласты, обладающие высокой рабочей температурой до 200 °С, стержень Ф-4, пленка Ф-4ЭО, трубка Ф-4Д [15].

Достаточное применение нашли различные клеи: БФ-4, ВК-9, нитроклей АК-20, герметики 51-Г-13а, эластил 11-06 и др.

### **3.5 Параметры шероховатостей поверхностей**

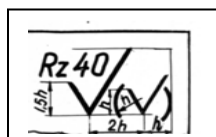
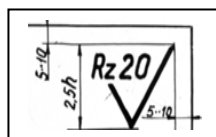
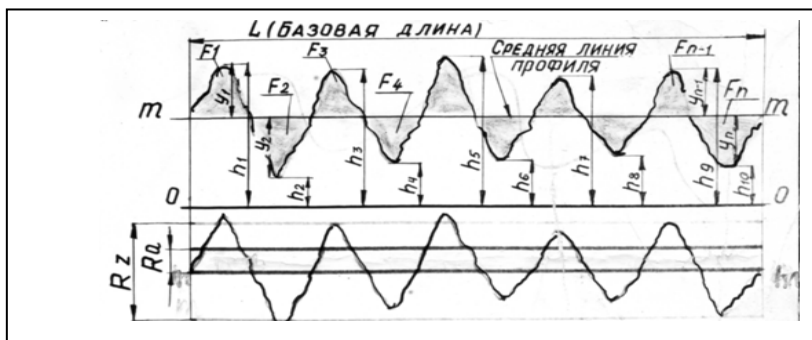
Шероховатость поверхности - это совокупность неровностей с относительно малым шагом (расстояние между верхними точками характерных неровностей измеренного профиля), образующих рельеф поверхности в пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине. Для оценки шероховатости поверхности установлены следующие два параметра: среднее арифметическое отклонение профиля - Ra от средней линии мм и высота неровностей профиля по 10 точкам - Rz, ГОСТ2309-73.

Различные дефекты поверхности (царапины, раковины и т.п.) при измерении шероховатости не учитывают. Числовое значение шероховатости ограничивают только максимальную

величину шероховатости. Классификация шероховатости поверхности приведена в приложении Е.

Обозначение шероховатости поверхности (Ш.П.)

1. Без удаления слоя материала (не обрабатываемый).
2. С удалением слоя материала всей детали одинаково.
3. Необозначенная на чертеже (все остальное).
4. Позиции 2 и 3 по старому обозначению позиции 4 новое обозначение с 2005 года. Все значения помещаются под радикал.



$$\sqrt{Ra\ 0,63(v)}$$

Рисунок 36 - Параметры обозначения шероховатости поверхности (Ш.П.)

### 3.6 Нанесение размеров и предельных отклонений на чертежах

Основанием для определения величины изображенного изделия и его элементов служат размерные числа, нанесенные на чертеже.

Для определения требуемой точности изделия при изготовлении, исходными являются величины указанные на чертеже: предельные отклонения размеров, а также предельные отклонения формы.

Размеры, указываемые для удобства пользования чертежом, но не подлежащие выполнению по данному чертежу, называются справочными. Их на чертеже отмечают значком «\*», а технические требования записывают: «\*» размеры для справок в частности установочные, присоединительные и другие. Если все размеры на чертеже справочные, их значком «\*» не отмечают, а в технических требованиях записывают «Размеры для справок», т.е. размеры, которые органами ОТК не контролируются.

Размеры, определяющие расположение сопрягаемых поверхностей, проставляют, как правило, от конструктивных баз с учетом возможностей выполнения и контроля этих размеров:

- от общей базы (поверхности) рисунок 37;
- заданием размеров нескольких элементов от нескольких общих баз рисунок 38;
- заданием размеров между смежными элементами (цепочкой) рисунок 39.

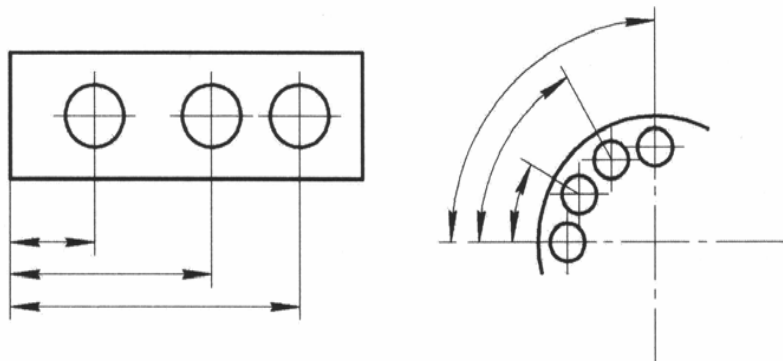


Рисунок 37 - Простановка размеров нескольких групп элементов от нескольких общих баз

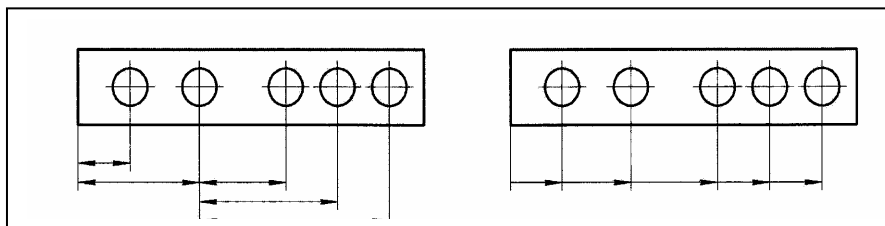


Рисунок 38 - Простановка размеров между смежными элементами

Не допускается на чертеже наносить размеры в виде замкнутой цепи.

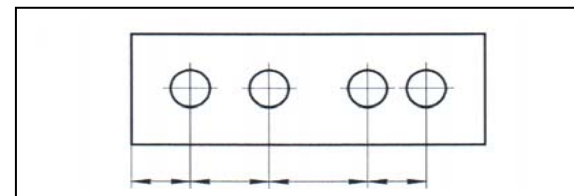
Размерные числа и предельные отклонения не допускается разделять или пересекать какими бы то ни было линиями чертежа.

Для всех размеров, нанесенных на рабочих чертежах, указывают предельные отклонения ГОСТ 2. 307-68.

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными обозначениями полей допусков и посадок

(квалитеты) или числовыми величинами или смешанными  $60^{+0.04}_{-0.12}$ ;  $60^{-0.095}_{-0.195}$ ;  $60^{+0.2}$ ;  $60_{-0.2}$ . Приложение Л.

а)



б)

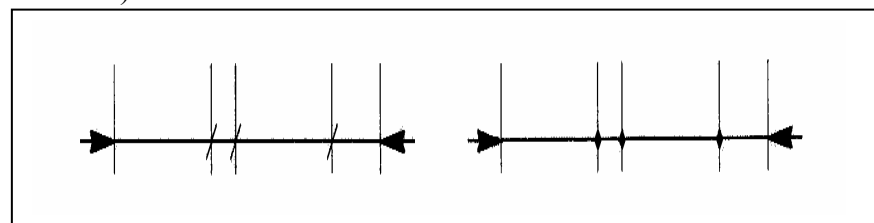


Рисунок 39 - Простановка размеров между смежными элементами (цепочкой)

При постановке предельных отклонений на чертежах деталей иногда возникают вопросы знаков отклонений «+», «-», «±», хотя этот вопрос давно известен и прост. Знак «-» при охватываемом размере (стержень). Знак «+» при охватывающем размере (отверстие). Знак «±» обычно при размерах между крепежными отверстиями (печатные платы) и др. подобными отклонениями (от края до отверстия).

## 4 Конструкторские расчеты

### 4.1 Компонировочные расчеты блока РЭС

В комплексе работ по конструированию блока компонование является центральным процессом. Ему должен предшествовать этап анализа и упорядочения исходных данных. Под этим подразумеваются нижеследующие операции:

- раскрытие исходных данных (задания) по условиям эксплуатации на основании нормативных документов. От номера группы, класса и т.п. нужно перейти до: конкретных температур, давлений, усилий, вибраций и т.д.;

- изучение и рассмотрение стандартов, общих технических требований и норм на заданный вид аппаратуры. Следует учесть их в общем комплексе исходных данных, т.е. полностью собрать все критерии и граничные условия, убедиться в полноте состава критериев и граничных условий (технических требований), устранить неточности их формулировок, а затем желательно и упорядочить их: критерии по весомости, граничные условия по времени их использования в процессе проектирования;

- рассмотрение и изучение работы заданной схемы электрической принципиальной на проектируемый блок;

- уяснение места проектируемого блока в комплексе радиоэлектронной системы, куда он входит составной частью. Нужно понять как его функциональную роль, так и геометрическое место, где он будет установлен, как закреплен, как и кем будет использоваться, эксплуатироваться, какие могут быть у обслуживающего персонала пожелания к удобству обслуживания блока. При проектировании блока для установки в стойку, шкаф уяснить размеры предназначенного для блока гнезда, способ выемки, фиксации, подключения;

- разбивка принципиальной схемы на части (узлы) с законченным функциональным циклом и составление функциональной схемы;

- выделение среди элементов принципиальной схемы и ее функциональных узлов мест, опасных с точки зрения взаимных влияний по тепловым, магнитным, электрическим связям, а может быть, и по механическим воздействиям;

- обзор и рассмотрение аналогов, т.е. изучение вариантов компонования в конструкциях, выполняющих аналогичные задачи и созданных другими разработчиками. Источником информации на этом этапе могут служить технические журналы, книги, нормативные документы, авторские свидетельства, патенты и т.д. Особое внимание следует уделить анализу компоновочных схем аналогов (в пояснительной записке их следует привести), отметить их положительные стороны, недостатки, сделать выводы и рекомендации применительно к своей задаче.

На основании вышеупомянутых материалов необходимо:

1. Решить вопрос, из каких конструктивов будет состоять блок. Конструктивом будем называть все крупные пространственно-ограниченные составные части блока. В качестве конструктивов могут выступать модули (конструкции 1-го уровня), а также крупные ЭРЭ (трансформаторы, конденсаторы, вариометры), различные механизмы. Специфическим конструктивом можно считать лицевую панель. Ее минимально необходимые габариты будут обуславливаться суммарной площадью, необходимой для удобного размещения всех выносимых на нее элементов схемы. Глубина такого конструктива определяется по наибольшему его элементу, например, переключателю, кнопке и т.д. Состав конструктивов блока определяется на основании его функциональной схемы. При этом принимается решение, какие функциональные узлы будут представлять собой отдельные конструктивы в виде печатных плат, печатных узлов, крупных деталей, модулей, а какие будут объединены. В результате функциональная схема образуется в структурную. В ней фигурируют уже конструктивы, их связи и число соединяющих их проводов. Все конструктивы имеют свои габариты и массу, определенный способ крепления и подсоединения к схеме,

характеризуются определенными тепловыделениями, которые желательно перед компоновочными работами рассчитать хотя бы ориентировочно. За габариты конструктивов берутся фактические (уже имеющихся в производстве или продаже функциональных узлов) или предполагаемые (на основании опыта конструктора, предварительных прикидок и расчетов, учета требований стандартизации). Ориентировочный вес конструктивов принимается, исходя из паспортной массы элементов и справочных характеристик материалов.

2. Установить цели, которые должны быть достигнутый ходе компонования. Они могут быть общими и специальными. К общим можно, например, отнести наиболее жесткие (короткие) функциональные связи, отсутствие взаимных магнитных и электрических наводок, отсутствие тепловых влияний, нарушающих надежную работу схемы. Специальными требованиями являются, например, минимальные габариты, наименьшая масса или наименьший объем, специальная форма, особые условия доступа, особые требования по внешним воздействиям, скорость "разборки-сборки" при ремонте, удобство обслуживания, иногда высокая технологичность (дешевизна изготовления и т.д. Наиболее частым подходом является требование наименьшего объема (габаритов) при обеспечении удобства эксплуатации (ремонте). Одна из целей может быть выделена как основная.

3. Установить и отобрать критерии, по которым можно оценить степень достижения при компоновке поставленных целей. В качестве критериев следует выбирать такие, которые определяются именно процессом компонования - варьированием взаимного расположения конструктивов. Выбор критериев зависит от объекта проектирования и его назначения. Выбор является обязанностью и правом проектировщика (студента). Однако наиболее часто это:

- критерий функциональных связей  $q_{\phi}$ ;
- критерии использования объема  $q_v$ ;
- критерии тепловых связей  $q_m$ ;

- критерии центра тяжести (ЦТ) полученной конструкции  $q_{цт}$ .

Остальные критерии добавляются по необходимости. Ими может быть ремонтпригодность, раскрываемость, технологичность и т.д. Не следует в качестве критериев брать независимые от компоновки величины, например, вес (массу), который не меняется от перестановки конструктивов, или экономичность, которой мы пока не знаем, или надежность, которая нечетко определяется взаимным расположением конструктивов. В качестве оценок критериев можно брать или реальные физические величины, или обобщенные по физическим величинам коэффициенты, или даже баллы, полученные на основе работы конструкторских подразделений и организаций.

Использование объема следует оценить коэффициентом заполнения объема

$$q_v = \frac{\sum V_{\text{эра}} + \sum V_{\text{нк}}}{V_{\text{бл}}},$$

где  $V_{\text{эра}}$  - объем ЭРЭ в блоке;  $V_{\text{нк}}$  - объем несущей конструкции;  $V_{\text{бл}}$  - объем блока.

## 4.2 Электрическая совместимость

При компоновке аппаратуры радиоэлектронных средств (РЭС) высших структурных уровней конструктору может встретиться необходимость защиты какого-либо чувствительного элемента схемы (объекта влияния) от внутренних и внешних источников помех, предполагая при этом, что путями преимущественного распространения помех являются связи через электрические, магнитные и электромагнитные поля. Вблизи источника излучения электромагнитной энергии (на расстояниях порядка длины волны и менее) задача защиты от внутренних источников

сводится к защите или только по магнитной или только по электрической составляющей поля. При нахождении источника помех на значительном удалении (более трех-пяти длин волн, в этих случаях речь обычно идет о внешних полях) рассматривается воздействие на объект распространяющейся в пространстве плоской электромагнитной волны, в которой энергия распределена равномерно между магнитной и электрической составляющими. Во всех упомянутых выше случаях весьма эффективным приемом защиты является применение экранов, иначе говоря экранирование. Экран представляет собой металлическое тело (перегородку, оболочку), разделяющее две области пространства и тем самым предотвращающее распространение электрических и магнитных полей от одной из этих областей к другой.

Защитное действие экрана основывается как на эффекте шунтирования (создания для силовых линий магнитного поля помехи специального "удобного" пути с низким магнитным сопротивлением в обход защищаемого объекта), так и на эффекте создания противодействующего помехе поля за счет вихревых токов, возбуждаемых полем помехи в материале экрана. В зависимости от частоты помехи влияние указанных эффектов осуществляется в различной степени. В изолированную экраном область помещается или объект влияния, или сам источник помех

*Эффективность экранирования* ( $\mathcal{E}$ ) - это уменьшение напряженности магнитного или электрического полей, обеспечиваемое в защитном объеме пространства конструкцией экрана, выражается чаще всего в децибелах:

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{H_{\mathcal{E}}}{H}, \text{ или } \mathcal{E} = 20 \lg \frac{E_{\mathcal{E}}}{E},$$

где  $H$  (или  $E$ ) - напряженность магнитного (электрического) поля в исследуемой точке до введения экрана;  $H_{\mathcal{E}}$  ( $E_{\mathcal{E}}$ ) - напряженность в той же точке после введения экрана.

Перевод децибелов в число раз увеличения (или уменьшения) может быть взят по таблицам или найден по значению логарифма. Промежуточные (узловые) точки легко запоминаются.

Увеличение (уменьшение) в 2 раза соответствует 6 дБ; 3,16 - 10 дБ; 10-20 дБ; 31,62 - 30 дБ; 100 -40 дБ; 1000 - 60 дБ; 10000 - 80 дБ.

Прежде чем приступить к выполнению задания студенту необходимо проанализировать, какому типу помех преимущественно подвергается защищаемый объект. Соответственно этому надо выбрать тип экранирования и определить, от каких частот помехи следует строить защиту. Требуемая степень защиты в общем случае может быть рассчитана, исходя из соображения, что напряжение помехи на защищаемом объекте должно быть, по крайней мере, в несколько раз меньше полезного сигнала. Интенсивность поля помехи на частоте  $f = 628$  принимается обычно в пределах 1,99 - 7,96 А/м. Конструктор должен иметь ввиду, что влияние помехи распространяется через магнитное поле и может быть снижено в 5 раз только за счет правильного размещения защищаемого объекта относительно поля помехи (даже без экранирования!).

Для контурных катушек (резонансных систем) необходимая степень ослабления помехи рассчитывается с учетом резонансной кривой контура, его добротности и требуемой полосы пропускания. Желательно, чтобы экран по возможности удовлетворял конструкторским требованиям, как по электростатическому, так и по магнитостатическому экранированию. Конструктивная форма экрана в зависимости от объекта - цилиндр или параллелепипед

#### 4.2.1 Магнитное экранирование на низких частотах (1-3 кГц)

В диапазоне частот 1-3 кГц эффективность экрана от частоты не зависит. Вначале подбирается материал экрана,



толщина экрана, зазор экран-объект. Эффективность экранирования проверяется расчетом. Наиболее практическая область - нижняя граница частотного диапазона поля помехи. Материалом экрана может быть только электротехническая сталь или пермаллой (при слабых полях). Допустимо применять многослойное экранирование. Расчетное соотношение для ориентировочных прикидок (до частоты помех 1 кГц):

$$\mathcal{E} = 1 + \mu_r \frac{d_{\mathcal{E}}}{D},$$

где  $\mathcal{E}$  - фактическая эффективность защиты;  $\mu_r$  - относительная магнитная проницаемость;  $d_{\mathcal{E}}$  - толщина стенок экрана, мм;  $D$  - диаметр эквивалентного сферического экрана (близкий к длине стенки кубического), мм.

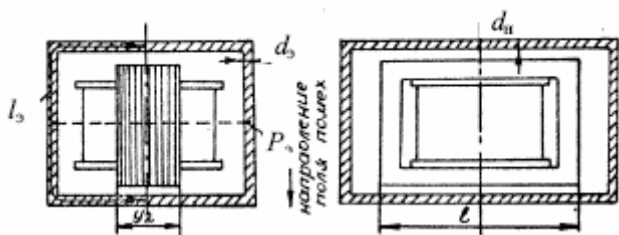


Рисунок 40 - Схема магнитного экранирования

Основной расчет эффективности экранирования рекомендуется выполнить по формуле

$$\mathcal{E} = 1 + \frac{2d_n p_{\mathcal{E}} d_{\mathcal{E}} \mu_r}{l_y l_{\mathcal{E}}},$$

где  $d_n$  - расстояние между сердечником защищаемого объекта и экраном в направлении поля помехи (рисунок 40), мм;  $P_{\mathcal{E}}$  - периметр экрана в плоскости, перпендикулярной направлению поля помехи, мм;  $l$  - длина яра сердечника в направлении, мм;  $l_y$  - меньший полупериметр прямоугольного экрана в плоскости, параллельной источнику помехи, мм;  $y$  - толщина набора сердечника, мм.

## 4.2.2 Магнитное экранирование на повышенных и высоких частотах

Суть экранирования сводится к тому, что под действием источника магнитной энергии на стороне экрана, обращенной к источнику, возникают заряды, а в его стенках - токи, образующие во внешнем пространстве поля, по напряженности близкие полю источника, а по направлению - противоположные ему. В результате внутри экрана происходит взаимная компенсация полей, а снаружи - вытеснение внешнего поля полями вихревых токов. Плотность тока и напряженность магнитного поля падают по экспоненциальному закону по мере углубления в металл. Поэтому в расчетах необходимо учитывать так называемую эквивалентную глубину проникновения (ЭГП) поля в толщину материала экрана (ЭГП =  $\delta$ ). Значения ЭГП для некоторых материалов на разных частотах приводятся в таблице 7. Расчетное соотношение при  $d_s = \delta$ :

$$\mathcal{E} = e^{\frac{d_s}{\delta}} \left( \frac{1}{2} + \frac{D}{2,8m\mu_r \delta} \right),$$

где  $d_s$  - фактическая толщина стенок экрана, мм;  $D$  - ширина прямоугольного экрана или диаметр цилиндрического, мм;  $m$  - коэффициент формы экрана ( $m = 1$  - прямоугольный,  $m = 2$  - цилиндрический,  $m = 3$  - сферический).

Таблица 8 - Эквивалентная глубина проникновения

Частота, Гц	Медь	Латунь	Алюминий	Сталь		Пермаллой
				$\mu_r = 50$	$\mu = 100$	
1	6,7	12,	8,8	-	1,	0,
1	0,2	0,3	0,27	-	0,	0,
1	0,0	0,1	0,08	0,	-	-
1	0,0	0,0	0,00	0,	-	-

При  $d_3 > \delta$  работает в основном эффект шунтирования, поэтому в данном случае расчетной формулой будет:

$$\Theta = \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma \omega \mu D d_3}{2m} \right)^2},$$

где  $\sigma$  - удельная проводимость материала,  $\text{См} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $\omega = 2\pi f$  - угловая частота;  $f$  - частота поля помехи, Гц;  $\mu = \mu_0 \mu_r$  - магнитная проницаемость;  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-8}$  - магнитная постоянная,  $\text{В} \cdot \text{с} / \text{см} \cdot \text{А}$ . В пограничных случаях рекомендуется провести расчет по этим формулам. Для контурных катушек необходимо проверить расчетом допустимость величины снижения добротности за счет введения экрана (обычно не более 10 %). Методика такого расчета показана ниже на примере.

### 4.2.3 Электрическое экранирование

Электрическое экранирование требует выбора материала с возможно большей проводимостью (алюминий, серебряная медь) и тщательной конструктивной проработки соединения экран - корпус. Эффективность экранирования определяется формулой

$$\Theta = Z_3 \omega \frac{C_{ЭА} C_{ЭВ}}{C_{АВ}},$$

где  $Z_3$  - комплексное сопротивление экрана {модуль};  $\omega$  - угловая частота помехи;  $C_{ЭА}$ ,  $C_{ЭВ}$ ,  $C_{АВ}$  - частичные емкости экран-наводящего помеху тела  $A$ ; экран-защищаемого объекта  $B$  и между телами  $A$  и  $B$ .

В формуле за сопротивление экрана следует принять переходное сопротивление экран-корпус ( $r_3$ ). Это сопротивление следует тщательно конструктивно проработать. Его величину в случае высококачественного исполнения следует принять в пределах 0,04 - 0,06 Ом, в прочих случаях 0,1 - 0,2 Ом. Допустимость того или иного решения проверяется

заданной эффективностью экранирования и требуемыми условиями эксплуатации.

В этом случае экранирование происходит, благодаря отражению электромагнитной волны от металлической поверхности экрана и затуханию преломленной волны в теле экрана. Кроме прямого прохождения падающей волны в тело экрана и далее в экранируемое пространство, теоретически имеются многократные переотражения энергии от границ металл-воздух как со стороны падающей волны, так и в теле экрана. Однако практически с ошибкой не более 2 % переотражениями можно пренебречь. Тогда расчетные формулы для проектирования экрана имеют следующий вид:

$$\Theta = \frac{E_{\text{пад}}}{E_{\Gamma}} = \frac{H_{\text{пад}}}{H_{\Gamma}} = e^{-\frac{d_3}{\delta}} \frac{Z_{\text{возд}}}{4Z_{\text{мет}}},$$

где  $Z_{\text{возд}}$  - характеристическое сопротивление воздуха (вакуум), оно принимается равным  $Z_{\text{возд}} = 377$  Ом;  $Z_{\text{мет}}$  - модуль характеристического сопротивления металла

$Z_{\text{мет}} = \sqrt{\omega \mu / \sigma}$ ;  $\omega$  - угловая частота помехи;  $\sigma$  - удельная проводимость металла,  $\text{Ом} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $\mu = \mu_0 \mu_r$  - магнитная проницаемость материала экрана. Толщина экрана практической роли не играет.

## 4.3 Рекомендации к выполнению экранов

### 4.3.1 Для случая магнитного экранирования

1. В расчет следует вводить не максимальное и не среднее значения магнитной проницаемости материала экрана, а начальную величину, так как индукция поля помехи, как правило, мала. Начальная магнитная проницаемость при этом должна быть возможно более высокой, за исключением интенсивных полей. Наиболее подходящим материалом здесь будет пермаллой.

2. Увеличение толщины экрана почти пропорционально увеличивает эффект экранирования.

3. Зазор между экраном и объектом экранирования при малых габаритах 3-5 мм, при больших 7-10 мм.

4 Недопустимо крепление трансформатора или иного объекта с магнитопроводом внутри экрана стальными деталями. Непосредственный контакт магнитопровода с экраном следует исключить.

5. При креплении на стальную панель следует исключить непосредственный контакт между экраном и панелью. Необходимо применять магнитные прокладки.

6. В конструкции экрана следует исключать на пути магнитных силовых линий стыки, швы и щели. Крышки применять с хорошо прилегающей отбортовкой. В отдельных случаях щели допустимы только вдоль направления силовой линии.

7. Менее подвержены помехам трансформаторы на тороидальных или стержневых сердечниках с равномерным распределением обмоток по сердечнику (стержням).

8. При проектировании конструкции экрана учитывать механические и технологические свойства материала (пригодность для глубокой вытяжки, гибки и пр.).

9. На повышенных (выше 10 кГц) и высоких частотах, где экранирующий эффект создается преимущественно противодействующим полем вихревых токов, для изготовления экрана с успехом применяются немагнитные материалы. От конструктора при этом требуется:

- обеспечить неравенство  $\delta_s > \delta$ ;

- обеспечить хорошую проводимость материала экрана на пути вихревых токов: предпочтительны медь, алюминий, латунь; на СВЧ рекомендуется в качестве покрытия серебро;

- на пути вихревых токов должно отсутствовать все, что увеличивает им сопротивление (швы, стыки, щели, зазоры, перпендикулярные к направлению токов широкие отверстия).

10. В пограничной частотной области (1-50 кГц) надо проверить как эффект от шунтирования, так и эффект от

вихревых токов. Сравнить их. Сделать вывод о преобладании одного из них.

#### 4.3.2 Для случая электрического экранирования

1. Для изготовления экрана требуется материал высокой проводимости. Отверстия малокритичны. Несущественно влияют и металлические покрытия.

2. Крайне важно обеспечить минимально возможное значение электрического сопротивления контакта экран-корпус, защиту этого контакта от окисления и механических воздействий. Особое влияние нужно уделить поверхностям из алюминия и магниевых сплавов, склонных к образованию изоляционной оксидной пленки.

3. Недопустимо образование электростатических влияющих связей с экранируемым объектом через промежуточные тела: незаземленные крышки, перегородки, стойки, металлические элементы несущих конструкций, другие нормально нетоковедущие части. Все подобные конструктивные элементы должны быть надежно заземлены. Крышки экранов в местах прилегания должны быть припаяны или же обеспечен другой вид надежного электрического контакта.

4. Следует в конструкциях избегать размеров, соизмеримых или кратных с длиной волны (во избежание появления стоячих волн).

5. При отсутствии полной ясности, от влияния какого поля должна быть выполнена защита объекта, ищется решение, удовлетворяющее требованиям как по магнитному, так и по электрическому экранированию.

### 4.3.3 Для случая электромагнитного экранирования

1. Выполняя конструкцию электромагнитного экрана, надо учитывать, что реальная эффективность экранирования будет всегда несколько меньше расчетной величины, ибо электромагнитное поле проникает внутрь экрана не только через толщину материала экрана, но и по щелям, проводам и прочим путям. Тут страшны все отверстия и щелочки независимо от расположения, поэтому запас по эффективности необходимо иметь не менее, чем на 30 %.

### 4.4 Расчет параметров печатного монтажа

Проектирование печатного монтажа включает следующие этапы:

1. По предлагаемой схеме, с учетом условий эксплуатации, произвести анализ типов электрорадиоэлементов (ЭРЭ).
2. Обосновать выбор метода изготовления печатной платы (ПП), исходя из технологических возможностей класса точности ПП (ОСТ 4.010.022-85).
3. Изучить основные требования по конструированию печатного монтажа (ГОСТ 23752-79).
4. Рассчитать паразитные связи на печатной плате.

#### Указания к выполнению п. 1

Выбор ЭРЭ, установочных, монтажных, крепежных и других элементов конструкции должен производиться, прежде всего, исходя из требований схемы и условий эксплуатации РЭС. При этом целесообразно придерживаться следующих рекомендаций:

- применять изделия только серийного или массового производства стандартные или унифицированные;
- сводить к минимуму количество типоминалов изделий;

- не применять ЭРЭ и другие комплектующие изделия в условиях и режимах, превышающих установленные нормативной документацией (ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ);

- учитывать надежность, долговременную и температурную стабильность, точность и стоимость изделий.

Выбрав нужный элемент по справочникам, ГОСТам, ОСТам или ТУ, студенту необходимо перенести в рабочую тетрадь габаритные и установочные размеры элемента и его полную запись в конструкторской документации.

#### Указания к выполнению п. 2

Выполняя этот пункт задания, необходимо учитывать, что основные параметры печатных плат, разрешающая способность, допустимая плотность тока, электрическое сопротивление проводников, пробивное напряжение между проводниками, диэлектрические потери, сопротивление изоляции, прочность сцепления проводников с основанием, прочность закрепления навесных элементов, стоимость зависят от метода изготовления и материала основания. Для избежания затруднений при сравнении параметров печатных плат, полученных разными технологическими методами, по литературным источникам, где иногда встречаются трудносопоставляемые характеристики, необходимо учитывать следующие положения:

- разрешающая способность и пробивное напряжение выше у плат, полученных фотохимическим и комбинированным позитивным методами, так как химическое травление дает более четкий край проводников, чем электрохимическое наращивание;

- удельное сопротивление  $r_v$  проводников из медной фольги составляет  $17,5 \div 8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , что близко к  $r_v$  объемных медных проводников ( $15,4 \div 8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ );  $r_v$  проводников, получаемых электрохимическим методом, в 1,3 - 1,5 раза выше, чем фольгированных;

- допустимая плотность тока у печатных проводников из-за развитой поверхности выше, чем у объемных: у фольгированных она составляет с учетом  $J_{\text{доп}} 30 \text{ А/мм}^2$ ; у проводников из электрохимического слоя меди -  $20 \text{ А/мм}^2$ ; у объемных  $5-10 \text{ А/мм}^2$ ;

- адгезия проводника к основанию у фольгированных проводников лучше, чем у электрохимических;

закрепление же выводов навесных элементов прочнее и надежнее в платах, изготавливаемых электрохимическим методом;

- при электрохимическом методе меньше расход меди, чем при химическом, кроме того, шире выбор материалов в качестве основания и обеспечиваются электрические переходы с одной стороны платы на другую по металлизированным монтажным отверстиям;

- комбинированный метод объединяет положительные качества химического и электрохимического методов, но за счет усложнения технологии и увеличения расхода меди дает более высокую стоимость печатных плат.

Выбор диэлектриков для печатных плат необходимо обосновать путем сравнительного анализа их основных характеристик, электрической прочности, сопротивления изоляции, диэлектрической проницаемости, диэлектрических потерь.

### Указания к выполнению п. 3

Изучая основные требования по конструированию РЭС на печатном монтаже, необходимо выделить и запомнить следующие положения.

Конструируя РЭС с применением печатного монтажа следует строго придерживаться функционально-узлового метода, основным принципом которого является схемная, конструктивная и технологическая законченность сборочных единиц, простейшие из которых получили название функциональных узлов (модулей). Размеры печатных плат для

УФУ и, следовательно, для модулей должны соответствовать выражению

$$(36n - 2)(14m - 2),$$

где  $n$  и  $m$  - целые числа.

Если число ЭРЭ в модуле меньше 30, то надо применять типоразмеры при  $n=1$ , т.е. из ряда  $34(14m - 2)$ .

При выборе соотношения сторон платы предпочтительными являются соотношения менее 3:1 групповой заготовки 2:1.

Для модуля с планарными выводами ключ (срез  $2 \times 45^\circ$ ) должен располагаться в верхнем углу платы, для модуля со штыревыми выводами - в нижнем левом углу.

В большинстве случаев ЭРЭ с массой до 5 - 10 г крепятся к плате выводами, которые воспринимают все усилия, возникающие при действии вибраций и ударов.

Диаметры отверстий под выводы должны соответствовать ГОСТу 10317-79 и выбираются из следующего ряда: 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0; 2,4 мм.

Элементы с массой более 10-20 г (малогабаритные трансформаторы, разъемы, ряд бумажных и электролитических конденсаторов и др.) должны дополнительно закрепляться с помощью хомутов, скоб, специальных держателей, прижимных планок и т.д. Особо тяжелые и крупногабаритные детали целесообразно размещать вне платы.

Ширину печатного проводника определяют в зависимости от электрических, конструктивных и технологических требований. Наименьшая номинальная ширина печатного проводника, мм, рассчитывается как

$$B = B_{\text{min}} + [B_{\text{н.о.}}]$$

где  $B_{\text{mind}}$  - минимальная допустимая ширина печатного проводника;  $B_{\text{н.о.}}$  - нижнее предельное отклонение ширины печатного проводника. Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника рекомендуется устанавливать в зависимости от класса точности.

Рекомендуемая ширина контактной площадки 0,5 - 0,8 мм, т.е. ее наружный диаметр для отверстия 1 мм без зенковки равен 2 - 2,6 мм, при наличии зенковки ширина площадки считается от диаметра зенковки. В узких местах разрешается делать подрезку кольца контактной площадки с одной или двух сторон до ширины 0,15 мм при химическом методе изготовления и до диаметра зенковки - при электрохимическом и комбинированном методах изготовления. При подрезке рекомендуется сохранять площадь контактных площадок за счет увеличения их ширины в свободные стороны.

При прокладке печатных проводников необходимо стремиться к сокращению их длины, равномерному расположению по площади платы, следить за тем, чтобы взаимные наводки и связи между проводниками были минимальными. В случае необходимости (для устранения пересечения печатных проводников) допускается установка проволочных перемычек. Если количество перемычек превышает 10 % от числа проводников, то следует перейти на двухсторонний монтаж. Для перемычек надо применять медную мягкую проволоку марки ММ диаметром 0,8 мм, луженую, в изоляционной трубке или без нее. Навесные ЭРЭ и перемычки должны быть установлены с одной стороны печатной платы, чтобы можно было выполнить групповую пайку погружением или волной припоя.

Место сгиба вывода от корпуса элемента и длина вывода от корпуса элемента до места пайки должны быть выбраны в соответствии с ТУ на элемент. На платах с односторонним расположением печатных проводников элементы устанавливаются вплотную к плате, с двухсторонним - с зазором 1 мм (для ИС зазор - 0,3 мм). Расстояние между корпусами соседних элементов должно быть не менее 0,5 мм. При размещении элементов особое внимание должно уделяться обеспечению нормального теплового режима: тепловыделяющие элементы располагают равномерно по поверхности платы, теплочувствительные элементы по возможности удаляют от тепловыделяющих, в необходимых

случаях применяют тепловые экраны и радиаторы. Для соединения с внешней схемой в модуле должны быть установлены переходные контакты или разъем. Для ориентировочного выбора площади платы нужно учитывать коэффициент заполнения  $K_3$ , равный 0,5 - 0,6:

$$S_{пл} = S_{эл} / K_3,$$

где  $S_{эл}$  - площадь элемента;  $S_{пл}$  - площадь платы.

Модуль после сборки, настройки и проверки необходимо покрыть защитным лаком (наиболее распространены лаки УР-231 и Э-4100).

#### Указания к выполнению п. 4

Зависимость погонной емкости между двумя печатными проводниками, расположенными друг под другом на соседних слоях и между соседними печатными проводниками одного слоя ширины проводника приведена соответственно в таблице 9.

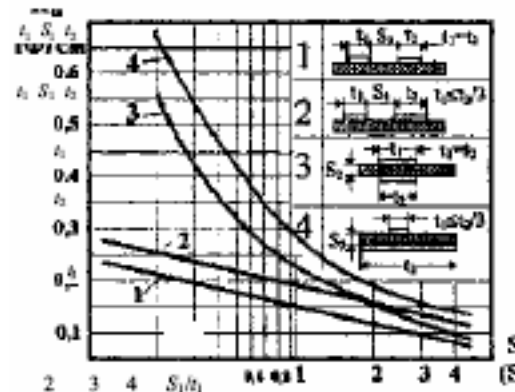


Рисунок 41 - Зависимость коэффициента пропорциональности  $K_p$  от параметров ПП:  $s_1, s_2$  - расстояние между печатными проводниками;  $t_1, t_2$  - ширина печатных проводников

Таблица 9 - Зависимость погонной емкости между двумя печатными проводниками от ширины проводника

Ширина проводника, мм	ДПП толщиной 1,5 мм
0,3	0,60
0,4	0,66
0,5	0,72
0,6	0,75
0,8	0,90
1,0	0,96
1,5	1,2
2,0	1,6
5,0	2,6

Паразитная емкость проводника в системе из трех и более проводников равна сумме паразитных емкостей пар проводников.

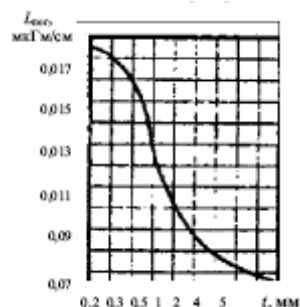


Рисунок 42 - Зависимость погонной индуктивности печатного проводника от ширины (толщина проводника 0,05 мм)

**Индуктивность печатного проводника.**

$$L = L_{пог} l_2,$$

где  $L_{пог}$  – погонная индуктивность печатного проводника, мкГн/см;  $l_2$  – длина печатного проводника, см.

Погонную индуктивность печатного проводника можно определить по рисунку 42.

#### 4.5 Расчет теплового режима

Целью расчета является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности ЭРЭ, необходимых для оценки надежности. Рекомендуется проводить расчет для наиболее критичного элемента, т.е. элемента, допустимая положительная температура которого имеет наименьшее значение среди всех элементов, входящих в состав устройства и образующих нагретую зону.

Таблица 10 - Теплофизические свойства материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	Материал	Коэффициент теплопроводности $\Delta$
Алюминий	208	Эбонит	0,163
Бронза	64	Стеклотекстит	0,24 - 0,74
Латунь	85,8	Стекло	0,834
Медь	390	Фарфор	0,231
Сталь	45,5	Картон	151
Асбестовая ткань	0,169	АЛ-9	175
Асбест листовой	0,116	АЛ-2	188
Слюда	0,583	АМЦ	0,04
Пластмасса хлорвинило	0,443	Пенопласт	0,06
Фторопласт	0,25	Пенополиур	
Полистирол	0,09 -	ЭПЭ	



## 4.6 Механические воздействия

Целью расчета является определение действующих на элементы изделия перегрузок при вибрации и ударах, а также максимальных перемещениях. При необходимости производится выбор и расчет системы амортизации.

### 4.6.1 Расчет на действие вибрации

1. Определяем частоту собственных колебаний отдельных конструктивных элементов РЭС. Частоту собственных колебаний равномерно нагруженной пластины вычисляем по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{K_\alpha}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} ab,$$

где  $a$  и  $b$  - длина и ширина пластины;  $D$  - цилиндрическая жесткость;  $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$ ;  $E$  - модуль упругости;  $H$  - толщина пластины;  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $M$  - масса пластины с элементами;  $K_\alpha$  - коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон пластины, определяется по общей формуле

$$K_\alpha = k \left( \alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4} \right)^{1/2}.$$

Коэффициенты  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  приведены в таблице 12. Если прогиб и угол поворота на краю пластины равны нулю, то этот край считают жестко заземленным. Если прогиб и изгибающий моменты равны нулю, то этот край опертый, и если изгибающий момент и перерезывающая сила равны нулю, то этот край свободный. Для пластины, закрепленной в четырех точках:

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left( 1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab.$$

Таблица 11 - Характеристики материалов, применяемых в РЭС

Материал	$E \cdot 10^{-10}$ , Н/м <sup>2</sup>	$\nu$	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Lambda \cdot 10^2$
СТЭ Ф	3,2	0,279	2,47	2-10
МТЭ толщиной	3,5	0,214	1,98	-
НФД толщиной	3,45	0,238	2,32	-
СФ с печатной	3,02	0,22	2,05	-
Сталь	22	0,3	7,8	-
Алюминий	7,3	0,3	2,7	-

Таблица 12 - Коэффициенты  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

№	Эскиз закрепления	$k$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
1		9,87	1	2	1
2		9,87	1	2,33	2,44
3		15,42	1	0,95	0,71
4		9,87	1	2,57	5,14
5		22,37	1	0,48	0,19
6		15,42	1	1,11	1
7		22,37	1	0,57	0,17
8		15,42	1	1,19	2,1
9		22,37	1	0,61	1
10		3,52	0	1	0

2. Определяем коэффициент динамичности.

Для механической системы с одной степенью свободы коэффициенты динамичности рассчитываются по следующим формулам:

- для силового возбуждения (рисунок 43, а)

$$K_{дин} = \chi = \frac{S_B}{z_{ст}} = \left[ (1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2 \right]^{-1/2};$$

- для кинематического возбуждения (рисунок 43, б)

$$K_{дин} = \mu = \frac{S_B}{\xi_0} = \frac{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}},$$

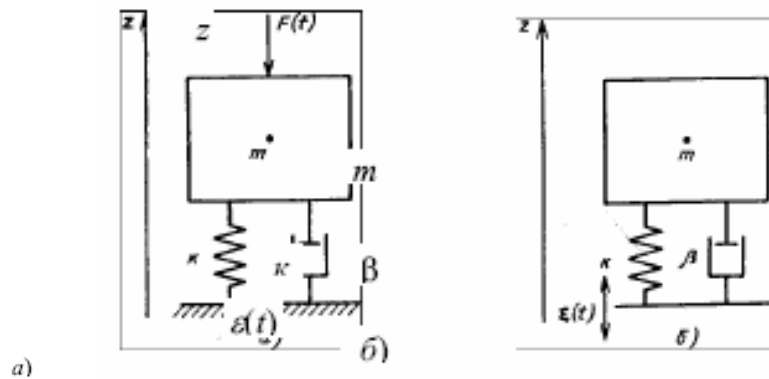


Рисунок 43 - Модели РЭС для анализа механических воздействий: модель механической системы с одной степенью свободы при силовом (а) и кинематическом (б) возбуждении

где  $S_B$  - амплитуда вынужденных колебаний;  $z_{ст}$  - статическое смещение системы под воздействием силы  $F_0$ ;  $z_{ст} = F_0/k$ ;  $F_0$  - амплитуда возбуждающей силы  $F(t)$ ;  $k$  - жесткость системы;  $\xi_0$  - амплитуда вибро смещения основания;  $\eta = f/f_0$  - коэффициент расстройки;  $f$  - частота возбуждения;  $f_0$  - частота собственных колебаний системы;  $\varepsilon$  - показатель затухания.

## 4.6.2 Расчет на действие удара

Ударные воздействия характеризуются формой и параметрами ударного импульса (рисунок 30). Следует иметь в виду, что максимальное воздействие на механическую систему оказывает импульс прямоугольной формы.

1. Определяем условную частоту ударного импульса  $\omega = \pi/\tau$ , где  $\tau$  - длительность ударного импульса.

2 Определяем коэффициент передачи при ударе:

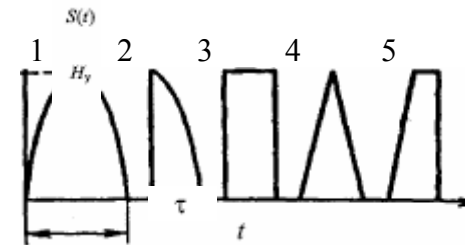


Рисунок 44 - Формы ударных импульсов: 1 - полусинусоидальная; 2 - четвертьсинусоидальная; 3 - прямоугольная; 4 - треугольная; 5 - трапецевидная

- для прямоугольного импульса

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi}{2v};$$

- для полусинусоидального импульса

$$K_y = \frac{2v}{v^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2v};$$

где  $v$  - коэффициент расстройки,  $v = \omega/2\pi f_0$ ;  $f_0$  - частота собственных колебаний механической системы.

3. Рассчитываем ударное ускорение  $a_y = H_y K_y$ , где  $H_y$  - амплитуда ускорения ударного импульса.

4. Определяем максимальное относительное перемещение:

- для полусинусоидального импульса

$$Z_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \frac{v}{v^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2v};$$

- для прямоугольного импульса

$$Z_{\max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \sin \frac{\pi}{2v}.$$

5. Проверяется выполнение условий ударопрочности по следующим критериям:

- для ЭРЭ ударное ускорение должно быть меньше допустимого, т.е.  $a_y < a_{y, \text{доп}}$ , где  $a_{y, \text{доп}}$  определяется из анализа элементной базы;

- для элементов РЭС типа пластин должно выполняться условие

$$Z_{\max} < \delta_{\text{доп}} l^2,$$

где  $\delta_{\text{доп}}$  определяется по таблице 14;

- для ПП с ЭРЭ

$$Z_{\max} < 0,003b,$$

где  $b$  - размер стороны ПП, параллельно которой установлены ЭРЭ;

- для амортизированных систем

$$Z_{\max} < Z_{\text{св}},$$

где  $Z_{\text{св}}$  свободный ход амортизатора.

6. Частным случаем ударного воздействия является удар при падении прибора. Действующая при этом перегрузка находится следующим образом:

- определяем относительную скорость соударения

$$V_0 = V_y + V_{\text{от}},$$

где:  $V_y = \sqrt{2gH}$  - скорость прибора в момент соударения;

$H$  - высота падения прибора;  $V_{\text{от}} = V_y K_{\text{в}}$  - скорость отскока;  $K_{\text{в}}$  - коэффициент восстановления скорости, выбирается из таблицы 14;

- вычисляем действующее на прибор ускорение

$$a_{\text{и}} = V_0 2\pi f_0,$$

Условие прочности проверяется аналогично п. 5 по ударному ускорению.

Таблица 13 - Значения коэффициента восстановления скорости в зависимости от материала соударяющихся тел

Материал соударяющихся тел	$K_{\text{в}}$
Сталь - сталь	0,94
Сталь - бетон	0,90
Сталь - сухая земля	0,68
Сталь - пенопласт	0,55

#### 4.7 Расчет надежности при конструкторском проектировании

В зависимости от класса разрабатываемого объекта, его назначения, исходных данных на проектирование, последовательность проведения расчетов надежности может быть различной. Наиболее часто студентам выдается задание на

конструкторскую проработку печатного узла или блока радиоэлектронных средств (РЭС).

При отсутствии стандартов для определения норм показателей надежности могут использоваться следующие способы: анализ эффективности, способ аналогии (прототипа), распределение нормы надежности системы по элементам.

Надежность РЭС в значительной степени определяется надежностью элементов электрической схемы (ЭЭС) и их числом. Поэтому точность расчета ПН проектируемого объекта относительно отказов, обусловленных нарушениями ЭЭС, имеет большое значение. Заметим, что к ЭЭС следует относить места паяк, контакты разъемов, крепления элементов и т.д. Показатель надежности, характеризующий отказы ЭЭС, обозначим  $N_{cx}$ .

При разработке РЭС можно выделить три этапа расчета показателей  $N_{cx}$ : прикидочный расчет ( $N_{cx}^n$ ), расчет с учетом условий эксплуатации ( $N_{cx}^p$ ) и уточненный расчет ( $N_{cx}^y$ ). Так как при изменениях конструкции могут меняться режимы и условия работы ЭЭС, то после каждого такого изменения необходима проверка условий, для которых рассчитывался показатель  $N_{cx}$ .

Обычно расчет  $N_{cx}$  производится в предположении, что имеет место экспоненциальный закон надежности, т.е. время работы объекта между отказами имеет экспоненциальное (показательное) распределение. Основаниями для этого служат:

- большое число элементов и высокая надежность каждого элемента (значительно превышает сроки службы каждого элемента период рабочей эксплуатации РЭС);
- все отказы, обусловленные некачественным изготовлением, проявляются в период настройки и испытания РЭС перед эксплуатацией;
- отказы, связанные со старением ЭЭС, в период эксплуатации РЭС составляют незначительную долю от общего числа отказов;
- вероятность возникновения отказов ЭЭС примерно одинакова в любые интервалы времени эксплуатации;

- отказы ЭЭС независимы.

Прикидочный расчет  $N_{cx}$  проводится с целью проверить возможность выполнения требований технического задания по надежности, а также для сравнения ПН вариантов разрабатываемого объекта. Прикидочный расчет может производиться и когда принципиальной схемы еще нет, в этом случае количество различных ЭЭС определяется с помощью объектов-аналогов. Исходные данные и результаты расчета рекомендуется представлять в форме таблицы 15.

По данным таблицы 15 рассчитываются граничные и средние значения интенсивностей отказов, а также другие показатели безотказности электрической схемы:

$$\lambda_{\min}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i,\min}; \quad \lambda_{\max}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i,\max}; \quad \lambda_{\varphi}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i,\varphi};$$

$$P_{\min}^n = \exp[-\lambda_{\max}^n t]; \quad P_{\max}^n = \exp[-\lambda_{\min}^n t]; \quad P_{\varphi}^n = \exp[-\lambda_{\varphi}^n t];$$

$$m_{i,\min}^n = 1/\lambda_{i,\max}^n; \quad m_{i,\max}^n = 1/\lambda_{i,\min}^n; \quad m_{i,\varphi}^n = 1/\lambda_{i,\varphi}^n;$$

Таблица 14

Порядковый номер и тип элемента	Число элементов каждого типа $n_j$	Границы и среднее значение интенсивности отказов, $\lambda_{j \min}, \lambda_{j \max}, \lambda_j$	Суммарные значения интенсивности отказов элементов определенного типа, $n_j \lambda_{j \min}, n_j \lambda_{j \max}, n_j \lambda_j$
1 Резисторы			
2 Конденсаторы			
3 Диоды			
4 Транзисторы			
5 Пайки			
...			

где  $m$  - число типов элементов схемы.

Расчет безотказности конструируемого объекта с учетом условий эксплуатации аппаратуры, т.е. влияния механических воздействий, высоты и климатических факторов производится с помощью поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов по одной из следующих формул:

$$\lambda_j^2 = \lambda_{0j} K_{1j} K_{2j} K_{3j} K_{4j}; \quad \lambda_j^2 = \lambda_{0j} K_{2j} K_{3j} K_{4j}; \quad \lambda_j^2 = \lambda_{0j} K_{1,2j} K_{3j} K_{4j},$$

где  $\lambda_{0j}$  - интенсивность отказов  $j$ -го элемента в номинальном режиме (температура окружающей среды 20 °С, коэффициент нагрузки равен 1);  $K_{1j} K_{2j} K_{3j} K_{4j}$  -

поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно воздействия вибрации, ударных нагрузок, климатических факторов (влажности и температуры) и высоты;  $K_{1,2j}$  - коэффициент, учитывающий одновременное воздействие вибрации и ударных нагрузок.

Значения интенсивностей  $\lambda_{0j}$  и поправочных коэффициентов  $K_{0j}$  берутся из научно-технической литературы по надежности РЭС. От достоверности исходных данных во многом зависит ценность расчетов надежности.

Обозначим произведение поправочных коэффициентов для  $j$ -го элемента через  $K_j^2$ :  $K_j^2 = K_{1,2j} K_{3j} K_{4j}$ , тогда

$$\lambda_j^2 = \lambda_{0j} K_j^2.$$

Исходные данные для расчета электрической схемы с учетом условий эксплуатации заносятся в табл. 16. Если в объекте имеется  $n_j$  однотипных элементов, имеющих одинаковые значения  $\lambda_{0j}$  и  $K_j^2$ , то для всей электрической схемы интенсивность  $\lambda_{\alpha}^2$  определяется по формуле

$$\lambda_{\alpha}^2 = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{0j} K_j^2.$$

В случае, когда объект содержит  $\omega$  частей, поправочные коэффициенты  $K_j^2$  для которых различны, например, одни части имеют амортизацию, другие - нет, то используется формула

$$\lambda_{\alpha}^2 = \sum_{i=1}^{\omega} \sum_{j=1}^m n_{ij} \lambda_{0j} K_j^2,$$

где  $n_j, \lambda_{oj}, K_j^2$  - число элементов  $j$ -го типа, их интенсивность отказов и поправочный коэффициент для  $l$ -й части объекта соответственно;  $m_l$  - число типов элементов в  $i$ -й части. На основе значений  $\lambda_{ок}^2$  определяются другие показатели с учетом условий эксплуатации:

$$P_{ок}^2 = \exp[-\lambda_{ок}^2 t]; \quad m_{ок}^2 = 1/\lambda_{ок}^2.$$

Заметим, что в формулах можно использовать интервалы значений  $[\lambda_{oj \min}, \lambda_{oj \max}]$  в этих случаях им соответствуют интервалы для ПН  $\lambda_{ок}^2, P_{ок}^2(t), m_{ок}^2$ .

Уточненный расчет показателей безотказности ( $N_{ок}^2$ ) производится, когда конструкция объекта в основном определена. Здесь прежде всего учитываются отклонения электрической нагрузки ЭЭС и окружающей их температуры от номинальных значений, кроме того анализируется изменение ПН при используемой системе обслуживания (введенной диагностике, улучшении условий ремонта и т.д.). Интенсивности отказов элемента  $j$ -го типа уточненная  $\lambda_j^2$  и всей схемы  $\lambda_{ок}^2$  рассчитываются по формулам

$$\lambda_j^2 = \lambda_j^2 a_j, \quad \lambda_{ок}^2 = \lambda_{ок}^2 = \sum_{j=1}^n n_j \lambda_j^2,$$

где  $a_j$  - поправочный коэффициент, определяемый как функция коэффициента  $K_{э, j}$ , учитывающего электрическую нагрузку, и температуры  $T_j$  для элемента  $j$ -го типа.

Коэффициенты нагрузки  $K_n$  для резисторов и конденсаторов определяется соответственно по формулам

$$K_n = \frac{W}{W_d}; \quad K_n = \frac{(U_n + U_{имп} + U_{\sim})}{U_{ном}},$$

где  $W$  и  $W_d$  - средняя и допустимая мощности рассеивания на резисторе;  $U_{ном}, U_n$  - номинальное и постоянное напряжение на конденсаторе;  $U_{имп}$  - амплитуда импульсного напряжения; и  $U_{\sim}$  - амплитуда переменной составляющей напряжения.

Для транзисторов в качестве  $K_n$  берется максимальный из следующих коэффициентов

$$U_{кэ}/U_{кэд}; \quad U_{кб}/U_{кбд}; \quad U_{эб}/U_{эбд}; \quad W/W_d,$$

где  $U_{кэ}, U_{кб}, U_{эб}$  - прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой;  $U_{кэд}, U_{кбд}, U_{эбд}$  - допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой;  $W, W_d$  - рассеиваемая и допустимая мощности.

Таблица 15

Номер и наименование элемента	Обозначение на схеме	Тип элемента	Количество элементов $j$ -го типа, шт.	Интенсивность отказов в номинальном режиме	Поправочные коэффициенты					Интенсивность отказов элемента $j$ -го типа с учетом условий эксплуатации, $n_j \lambda_j^2 K_j^2 a_j$

Для диодов коэффициент нагрузки берется с учетом коэффициентов по прямому току ( $I_{пр}$ ), обратному току ( $I_{обр}$ ) и напряжению ( $U$ ), т.е.

$$K_n = \max \left\{ \frac{I_{пр.шт}}{I_{пр.ном}}; \frac{I_{обр.шт}}{I_{обр.ном}}; \frac{U_{шт}}{U_{ном}} \right\}.$$

Коэффициент нагрузки для контактов реле, выключателей, коммутационных устройств и монтажных проводов определяется отношением рабочего и номинального

$$K_n = \frac{I_{шт}}{I_{ном}}$$

токов, т.е. а для обмоток реле и электромагнитов - относительным временем нахождения их под нагрузкой или относительной наработкой. Уточненные значения показателей

безотказности  $P_{от}^j(t)$ ,  $m_{от}^j$  - относительно отказов элементов электрической схемы рассчитываются по аналогичным формулам.

## 5 Автоматизированный расчет заданного теплового режима радиоэлектронных модулей

### Оценка температуры элемента на плате

При определении температуры  $T_j$  корпуса элемента, установленного на плату и рассеивающего мощность  $P_j$ , необходимо учитывать следующие процессы теплообмена: конвективный теплообмен с воздухом и лучистый теплообмен с соседней платой на поверхности корпуса элемента; теплообмен элемента с участком платы ( $\Delta x_j \Delta y_j$ ) под элементом за счет кондуктивного переноса через воздушную прослойку (для корпусов со штыревыми выводами) или контактного теплообмена через клей, пасту (для корпусов с планарными

выводами); растекание теплового потока по плате от зоны проекции элемента  $S_j = \Delta x_j \Delta y_j$ ; приток теплоты по плате к участку установки  $j$ -того элемента от участков  $S_i = \Delta x_i \Delta y_i$ , на которых установлены другие тепловыводящие элементы ( $i=1, \dots, J; i \neq j$ ).

Согласно принципу суперпозиции выражение для температуры корпуса элемента  $T_j$  можно записать следующим образом:

$$T_j = \tilde{T}_j + \mathcal{G}_{jj} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^J \mathcal{G}_{ij},$$

где  $\tilde{T}_j$  - фоновая температура ;

$\mathcal{G}_{jj}$  - собственный перегрев  $j$ -того элемента над температурой условной среды за счет рассеяния собственной мощности ;

$\mathcal{G}_{ij}$  - наведенный перегрев  $j$ -того элемента над температурой условной среды, вызванный кондуктивным притоком теплоты по плате от  $i$ -того элемента мощностью  $P_i$  при “выключенных” остальных источниках.

### Оценка собственного перегрева

Величина  $\mathcal{G}_{jj}$  формируется за счет выделения мощности  $P_j$ , часть которой  $P_{jnl}$  растекается по плате и сбрасывается с ее поверхности, а другая часть  $(P_j - P_{jnl})$  рассеивается непосредственно со свободной поверхности корпуса элемента. Соотношение этих тепловых потоков зависит величин тепловых проводимостей «корпус-плата»  $\sigma_{к-пл}$ , «корпус-среда»  $\sigma_{к-ср}$ , а также проводимости  $\sigma_{пл-ср}$ , характеризующей растекание теплоты потока от зоны проекции элемента на плату и его рассеяние с поверхности платы в среду. Схема



соединения этих тепловых проводимостей представлена на рисунке 1.

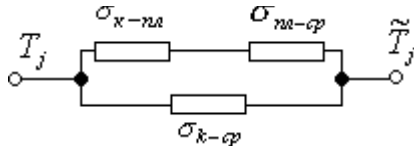


Рисунок 45 - Схема соединения тепловых проводимостей

Выражение для собственного перегрева согласно этой схеме можно записать в виде

$$g_{jj} = \frac{P_j}{\sigma_{к-ср} + (1/\sigma_{к-пл} + 1/\sigma_{пл-ср})^{-1}}$$

Тепловая проводимость  $\sigma_{к-ср}$  складывается из конвективной проводимости от корпуса элемента к воздуху  $\sigma_{к-ср}^к$  и лучистой проводимости от корпуса к соседним платам  $\sigma_{к-ср}^л$ . Исходя из особенностей геометрии корпуса элемента и его установки на плату, рассчитывают площади  $S^к$  и  $S^л$  корпуса элемента, участвующие в конвективном и лучистом теплообмене соответственно. По критериальным соотношениям определяется конвективный коэффициент теплоотдачи  $\alpha^к$ , а по законам лучистого теплообмена - коэффициент теплоотдачи излучением  $\alpha^л$ . Тогда тепловая проводимость определяется по формуле:

$$\sigma_{к-ср} = \alpha^л S^л + \alpha^к S^к$$

Если элемент устанавливается с индивидуальным радиатором, то увеличение теплоотдающей поверхности

учитывается путем соответствующего увеличения тепловой проводимости «корпус-среда».

Тепловая проводимость «корпус-плата» зависит от способа крепления элемента на плате и рассчитывается с учетом переноса теплоты по выводам и через зазор между дном корпуса и платой.

Наибольшая сложность заключается в определении тепловой проводимости  $\sigma_{пл-ср}$ . Наличие многих элементов на плате приводит к тому, что разных ее местах условия теплоотдачи различны, причем установленные элементы в зависимости от их типа могут, как интенсифицировать теплоотдачу в данном месте платы, так и затруднять ее. В рассматриваемой методике не учитываются эти особенности, считается, что на всей плате условия теплоотдачи одинаковы и характеризуются постоянными коэффициентами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  с каждой стороны платы. Плата считается однородной пластиной с толщиной  $\delta$  и с эффективной теплопроводностью  $\lambda$ . Тепловая проводимость  $\sigma_{пл-ср}$  по определению равна отношению теплового потока  $P_{пл}$ , входящего в плату от поверхностного источника мощностью  $P$ , к перегреву участка платы под источником:

$$\sigma_{пл-ср} = P_{пл} / g_0 = (P - \alpha_1 g_0 \Delta^2) / g_0.$$

Здесь из полной мощности  $P$  вычитается тепловой поток  $\alpha_1 g_0 \Delta^2$  уходящий с участка площадью  $\Delta^2$  в сторону, на которой расположен источник. С учетом того, что  $P = (\alpha_1 + \alpha_2) g_{\max} \Delta^2$ , получим соотношение для расчета тепловой проводимости  $\sigma_{пл-ср}$ , в которое входит величина  $\theta = g_0 / g_{\max}$ , определяемая из рисунка 2.

$$\sigma_{н-ср} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)g_{\max}\Delta^2 - \alpha_1 g_0 \Delta^2}{g_0} = \Delta^2 \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\theta} - \alpha_1 \right)$$

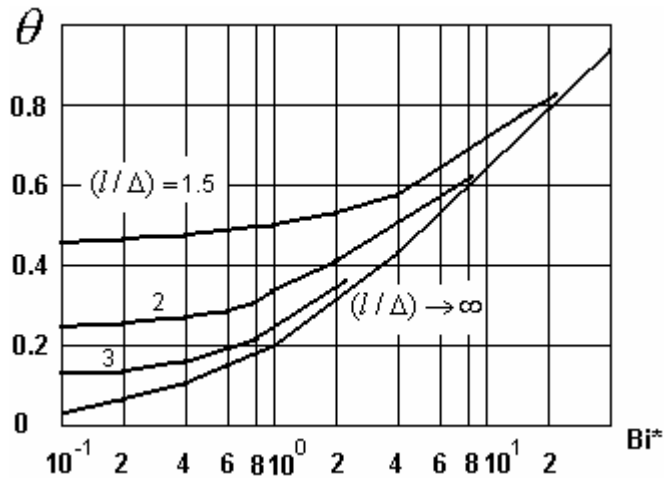


Рисунок 46 - Зависимость относительного перегрева от  $Bi^*$  и  $(l/\Delta)$

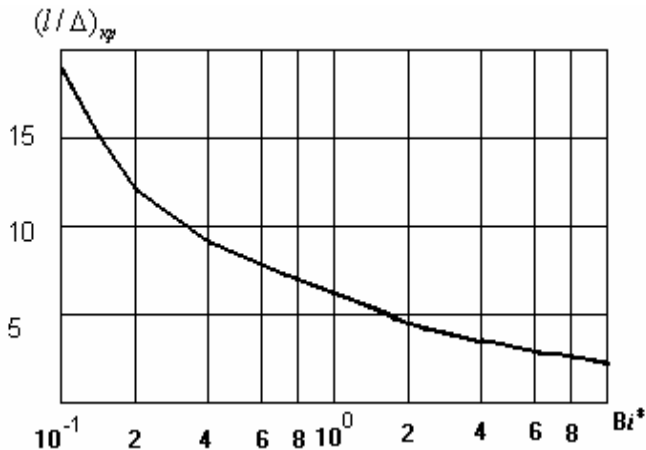


Рисунок 47 - Зависимость критической величины  $(l/\Delta)$  от числа  $Bi^*$

Величина  $\theta$  является функцией вида

$$\theta = f(Bi^*, l/\Delta),$$

где  $Bi^*$  - критерий Био, который можно определить по следующей формуле:

$$Bi^* = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)\Delta^2}{\lambda\delta}.$$

Оценка наведенного перегрева

При анализе теплового режима МС и МСБ на печатной плате или микроблоках, установленных на общее основание, температурное поле платы (основания) часто описывают с помощью модели пластины с локальными источниками теплоты и теплообменом на боковой поверхности. Двухмерное стационарное распределение перегрева в пластине  $\vartheta(x, y)$  находят путем решения уравнения

$$\lambda_x \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + \frac{q(x, y)}{\delta} - \frac{\alpha}{\delta} \vartheta = 0, \quad 0 < x < l_x, \quad 0 < y < l_y,$$

где  $l_x$  и  $l_y$  - размеры пластины;

$\delta$  - толщина пластины (рисунок 48);

$\lambda_x, \lambda_y$  - теплопроводности пластины в направлении осей X и Y;  $\alpha$  - сумма коэффициентов теплоотдачи с обеих сторон пластины;

$q(x, y)$  - поверхностная плотность теплового потока от локальных источников, равная нулю вне зон расположения источников и постоянная в пределах зоны действия каждого j-того источника:

$$q(x, y) = \sum_{j=1}^J q_j(x, y);$$

$$q_j(x, y) = \begin{cases} P_j / \Delta x_j \Delta y_j & \text{при } x_{j1} < x < x_{j2}, \quad y_{j1} < y < y_{j2}; \\ 0, & \text{вне зоны источника.} \end{cases}$$

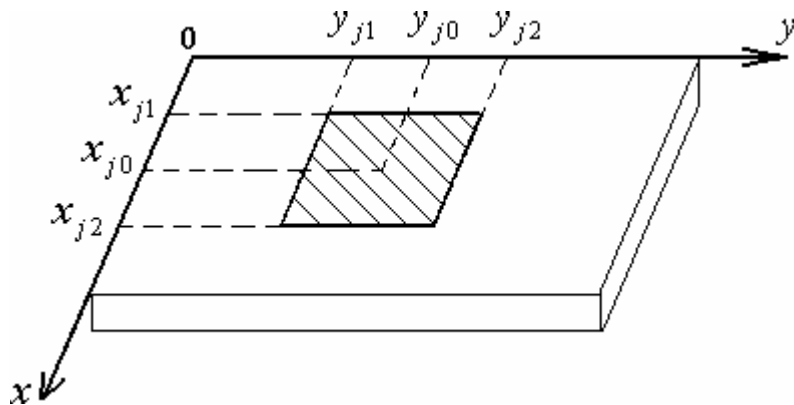


Рисунок 48 - Пластина с локальным источником теплоты

Для отвода тепла от полупроводниковых приборов применяются теплоотводы, действие которых основано на различных способах рассеивания тепловой энергии – теплопроводности, естественной и принудительной конвекции воздуха и жидкости, испарении жидкостей, кипящих при низкой температуре, плавлении вещества, термоэлектрическом эффекте Пелетье. В зависимости от величины рассеиваемой мощности и условий охлаждения рекомендуется применять следующие конструкции теплоотводов: пластину, одно- и двусторонне оребренный, штыревой, петельно-проволочный,

типа «Краб», теплоотвод с легко плавким веществом, теплоотводы для транзисторов малой мощности.

Теплоотвод-пластину рекомендуется применять при рассеиваемой мощности не более 5Вт. При значениях мощности более 5Вт габаритные размеры теплоотвода очень велики. Теплоотводы оребренные, штыревые, петельно-проволочные, типа «Краб» целесообразно применять для отвода мощностей  $P=5—20$  Вт при температуре окружающей среды до  $+120^{\circ}\text{C}$ . При значениях рассеиваемой мощности свыше 20Вт и температуре окружающей среды выше  $+120^{\circ}\text{C}$  эти конструкции необходимо использовать в условиях принудительного воздушного охлаждения или применять жидкостное охлаждение. Для обеспечения равномерного температурного поля длину и ширину теплоотвода целесообразно делать близкими по величине. Соотношение сторон теплоотвода не должно быть более 2 к 1.

#### Автоматизированный расчет теплового режима дискретных элементов на плате

**Пример 1.** Для заданного числа ЭРЭ, расположенных произвольным образом на плате, рассчитать:

- 1) собственный перегрев каждого элемента;
- 2) перегрев, наведенный со стороны других элементов;
- 3) полный перегрев каждого ЭРЭ;
- 4) для каждого элемента, его температуру.

#### Методика проведения расчетов:

Загрузка программы осуществляется запуском исполнительного файла RADRASCHIT.exe.

После запуска программы появляется стартовое диалоговое окно, изображенное на рисунке 50.

В данном окне присутствуют четыре вкладки:

«Данные о плате», «Данные об элементах», «Действия», «Результаты».

На вкладке «Данные о плате» необходимо указать ( или выбрать) следующие параметры:

- количество элементов;
- температуру окружающей среды;
- длина, ширина и толщина платы;
- материал платы либо его теплопроводность;

После ввода данных следует нажать кнопку «ОК».

На второй вкладке «Данные об элементах», изображенной на рисунке 6 в табличной форме представлены параметры каждого элемента.

Здесь необходимо указать параметры элементов:

- координаты центра;
- рассеиваемая мощность;
- габариты элемента;
- предельно допустимая температура;
- величина зазора между элементом и платой (при необходимости);
- материал вещества между элементом и платой (при необходимости);
- цвет элемента.

Редактирование параметров элементов осуществляется в специальной форме (рисунок 50) , вызываемой при нажатии кнопки «Правка», либо при двойном щелчке левой кнопкой мышки на строке соответствующего элемента.

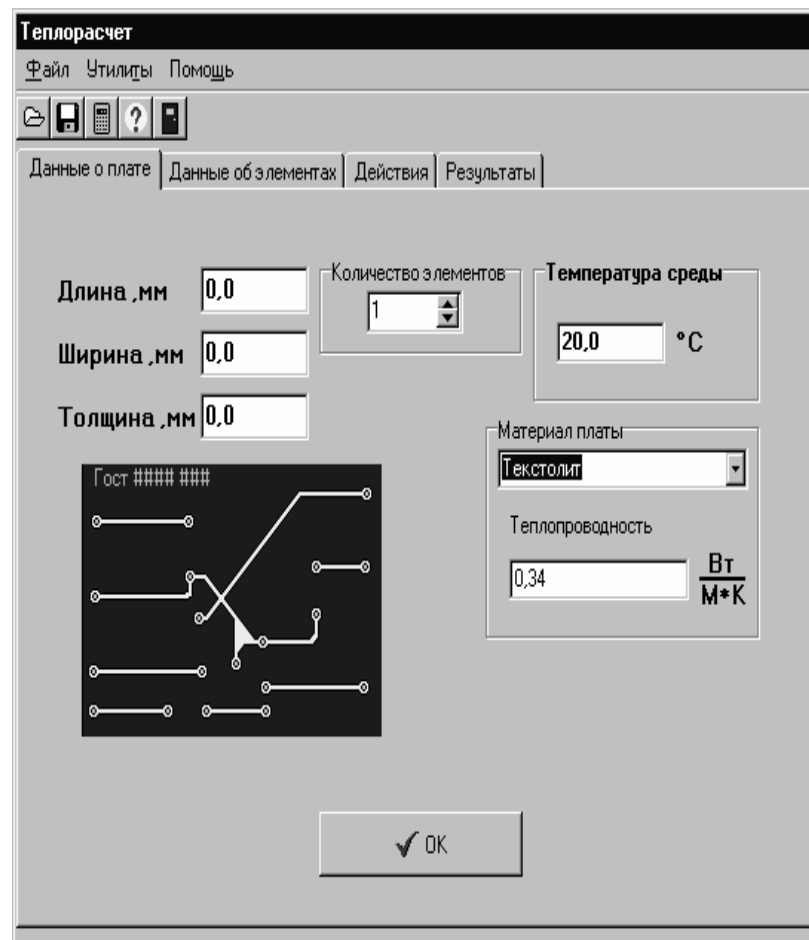


Рисунок 49 - Главное окно программы

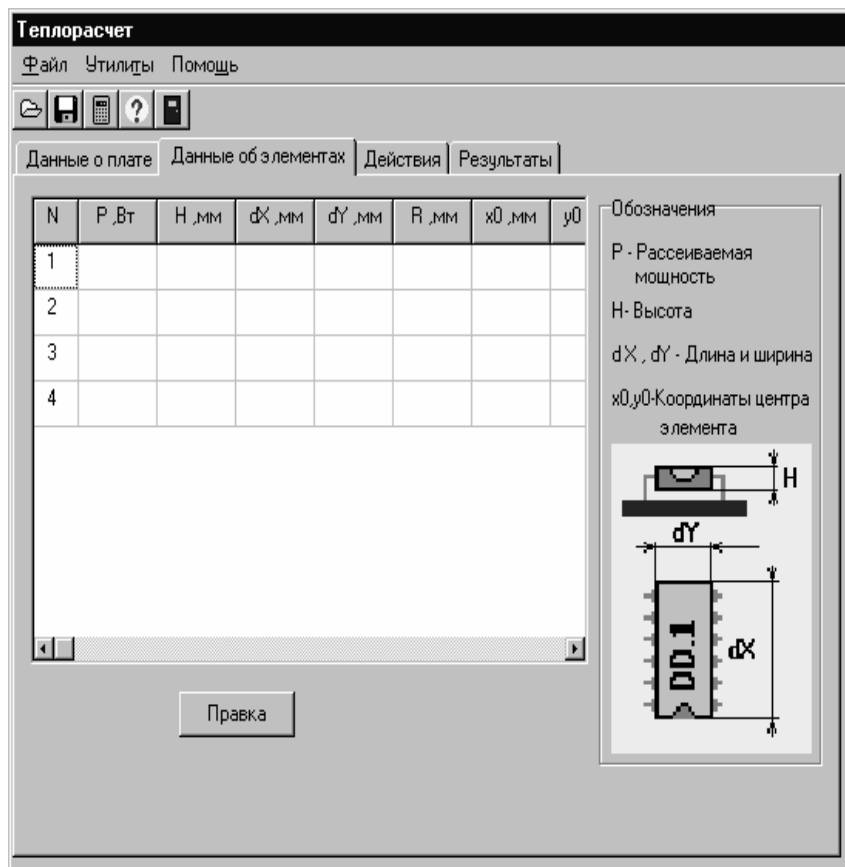


Рисунок 50 - Вкладка «Данные об элементах»

На вкладке «Действия» размещены элементы управления для реализации следующих функций:

- сохранить (запись данных о плате и элементах в файл на диске для использования их при последующих запусках программы; файл данных имеет расширение .tpd);
- загрузить (чтение данных о плате и элементах из ранее созданного файла данных);

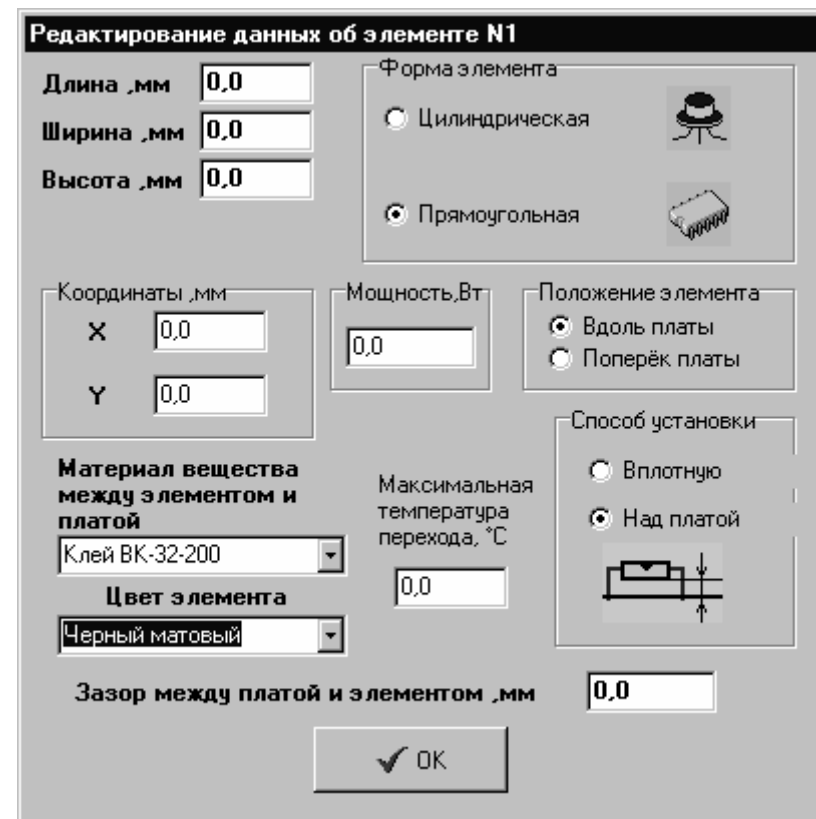


Рисунок 51 - Окно редактора параметров элементов

рассчитать перегревы (запуск алгоритма расчета собственных и наведенных перегревов элементов).

Запуск этих функций может быть вызван из одноименных пунктов меню, либо с помощью нажатия на соответствующие кнопки на панели инструментов.

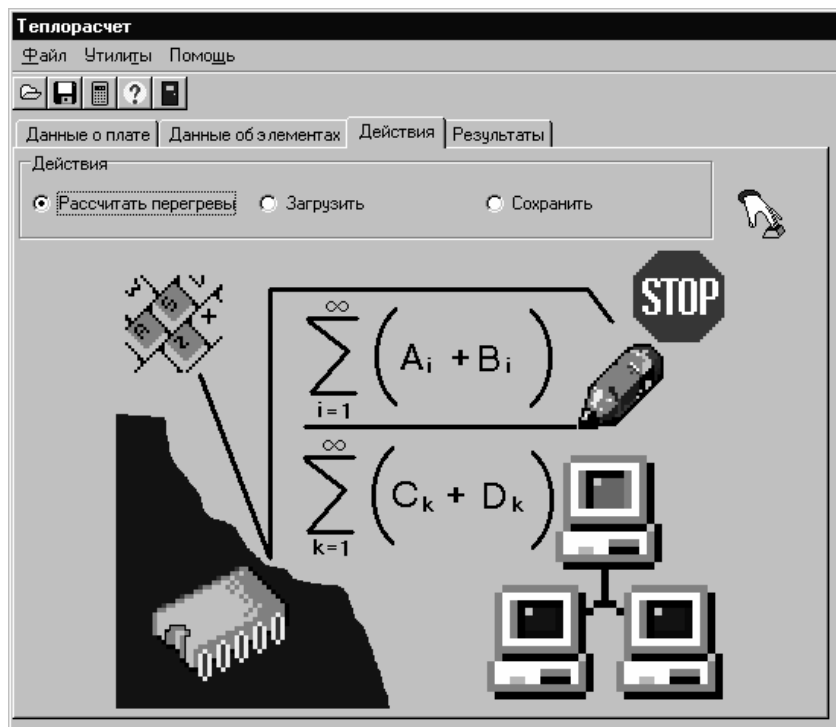


Рисунок 52 - Вкладка «Действия»

Последняя вкладка «Результаты» предназначена для просмотра результатов расчета. Результаты представляются в виде таблицы в которой указываются:

- собственный перегрев элемента;
- перегрев, наведенный со стороны других элементов;
- полный перегрев;
- температура элемента.

Для элементов, испытывающих наиболее тяжелый тепловой режим можно рассчитать конструктивные параметры теплоотводов и выбрать их тип.

Для этого необходимо:  
 поместить курсор в соответствующую строку таблицы результатов и выбрать в меню «Утилиты» пункт «Расчет радиатора». При этом запускается исполняемый файл RADRASCHET.EXE .

Затем появляется диалоговое окно программы расчета радиатора, изображенного на рисунке 52.

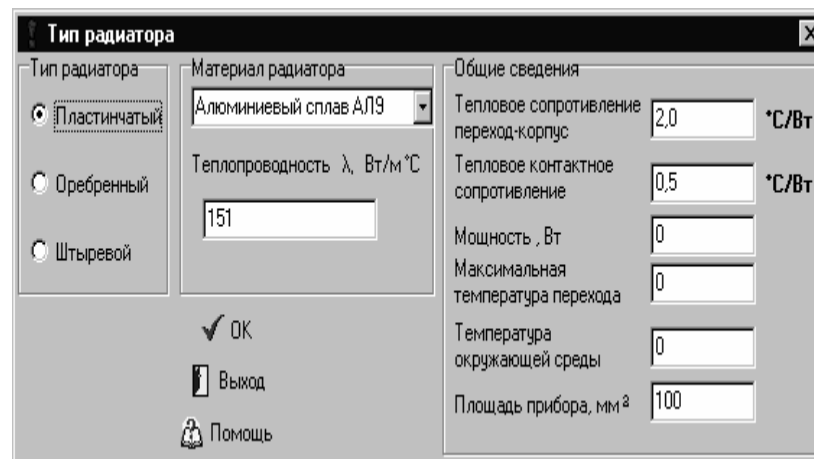


Рисунок 53 - Главное окно программы RADRASCHET

Следует учесть, что программа расчета теплоотвода может запускаться пользователем и независимо.

В случае ее запуска из программы TEPLORASCHET в программу RADRASCHET автоматически передаются величины мощности элемента, температуры окружающей среды и предельно допустимые температуры.

В главном диалоговом окне необходимо указать:

- материал теплоотвода;
- тепловое сопротивление переход – корпус;
- тепловое контактное сопротивление ;
- площадь прибора.

Затем надо выбрать тип радиатора и нажать кнопку «OK».

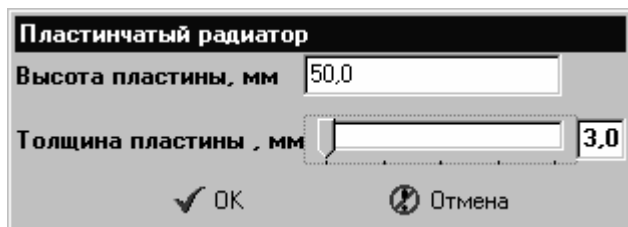


Рисунок 54 - Окно для ввода параметров пластинчатого радиатора

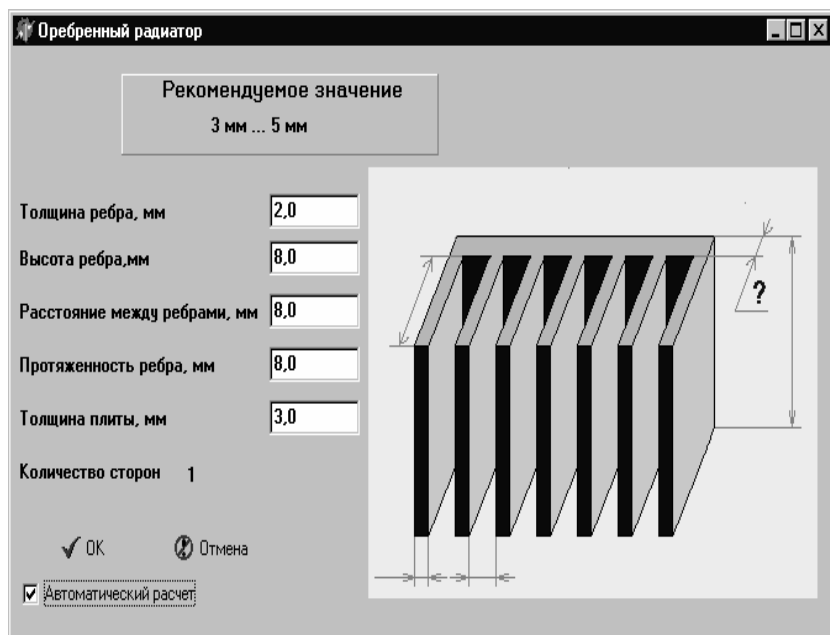


Рисунок 55 - Окно для ввода параметров оребренного радиатора

При нажатии кнопки «ОК» в зависимости от выбранного типа радиатора открывается соответствующее окно для ввода первоначальных параметров теплоотвода (рисунки 53, 54, 55).



Рисунок 56 - Окно для ввода параметров штыревого радиатора

В открывшемся окне следует ввести необходимые параметры и нажать «ОК» для расчета, либо «Отмена» - для возврата в главное окно. По окончании расчета откроется окно результатов (рисунок 57).



Результаты при необходимости можно распечатать, либо сохранить на диск; файл результатов будет иметь расширение .rtf и его впоследствии можно просмотреть с помощью редактора Word.

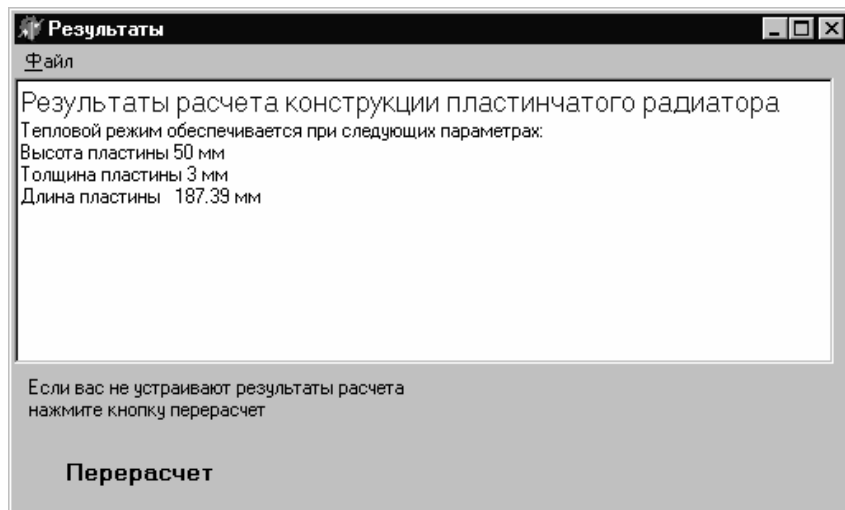


Рисунок 57 - Окно просмотра результатов расчета

## 6 Краткое руководство пользователя автоматизированной системой разработки конструкторской документации Компас версии V8-V10

Система автоматизированного проектирования (САПР) родилась в 60-е годы прошлого века, но лишь с бурным развитием вычислительной техники последнего десятилетия стало возможным создание аппаратных и программных средств машинной графики. В настоящее время идет интенсивная работа по созданию искусственного интеллекта.

Полный переход на автоматизированное проектирование позволит уменьшить время создания чертежей и иной конструкторско-технологической документации, а также повысить качество выполнения документов. Конструкторские документы, выполненные традиционным способом с помощью карандаша и ватмана, свидетельствуют о низкой производственно-технологической базе предприятия.

Однако широкое использование компьютерной техники позволит лишь исключить рутинный труд: использование шаблонов и библиотек конструкторско-технологической документации, вычисления, моделирование производственных процессов и др. Творческий потенциал человека никакой вычислительной техникой не заменить. Поэтому разработка свежих идей и концепций создания новой техники остается прерогативой инженеров и ученых.

В настоящее время невозможно себе представить современное промышленное предприятие или проектно-конструкторское бюро без компьютеров и специальных программ, предназначенных для разработки конструкторской документации или проектирования. Применение вычислительной техники в области проектирования стало свершившемся фактом и доказало свою высокую эффективность. Рыночные отношения и жесткая конкуренция заставляет руководителей предприятий и специалистов заниматься вопросами автоматизации проектно-конструкторских и технологических отделов.

Переход на компьютерное проектирование позволит сократить не только сроки разработки конструкторской и технологической документации, но и существенно повысить качество создаваемых изделий и выпускаемых документов.

Аналогичная картина складывается в области высшего образования. Сегодня высшие учебные заведения уделяют большое внимание применению автоматизированного проектирования при обучении студентов.

Внедрение CAD/CAM-систем позволит освоить компьютерные технологии и использовать их в учебном процессе, что позволит резко повысить качество обучения.

В настоящее время САПР КОМПАС широко применяются в машиностроении, приборостроении, строительстве и энергетике. 1800 научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, промышленных предприятий России, Украины, Белоруссии, Казахстана, Болгарии, Вьетнама и других стран с успехом эксплуатируют эти системы.

Аргументы в пользу выбора САПР КОМПАС в качестве инструмента решения чертежно-конструкторских и технологических задач:

1. Простота освоения и применения системы, удобный интерфейс и система помощи.
2. Большое количество учебно-методических материалов.
3. Приемлемые требования к конфигурации аппаратного обеспечения.
4. Полное соответствие системы требованиям ЕСКД.
5. Соответствие системы принципам CALS-технологий (компьютерная поддержка на всех этапах проектирования и производства продукции).
6. Широкое распространение во всех отраслях промышленности.
7. Программный комплекс КОМПАС - ключевой элемент в построении информационной цепочки, включающей расчетные системы и САПР более высокого уровня.
8. Рекомендован Министерством образования РФ к широкому применению в высших и общих образовательных

учреждениях сертифицированного программного продукта «КОМПАС-ГРАФИК».

Характеристики компьютера, рекомендуемые для эффективной работы с графическим редактором КОМПАС 3D L T :

- процессор Pentium 133 и выше;
- оперативная память 32 Мб и выше;
- видеокарта 1 Мб или более;
- монитор SVGA с размером диагонали от 17 дюймов и более;
- привод CD-ROM;
- свободное пространство на жестком диске не менее 70 Мб;
- мышь и клавиатура.

### 6.1 Панель управления

На панели управления расположены кнопки для вызова часто используемых команд. Состав панели можно изменить (увеличить или уменьшить количество кнопок в зависимости от выполняемой задачи) с помощью интерактивного окна настройки системы графического редактора. Для быстрого вызова необходимой команды необходимо нажать соответствующую кнопку на панели управления (рисунок 58).



Рисунок 58 - Быстрый вызов команд

Многие команды на панели управления продублированы в **Строке меню**.

Изображение кнопок, их название и функциональное назначение представлены на рисунке 59.













	<b>Удалить</b>	Удаляет выделенные объекты
	<b>Новая деталь</b>	Создает новый файл трехмерной детали
	<b>Новый лист</b>	Создает новый лист чертежа
	<b>Новый фрагмент</b>	Создает новый фрагмент чертежа
	<b>Открыть документ</b>	Открывает в новом окне уже существующий документ
	<b>Сохранить документ</b>	Сохраняет документ
	<b>Вырезать в буфер</b>	Удаляет выделенные объекты и помещает их в буфер обмена
	<b>Копировать</b>	Копирует выделенные объекты в буфер обмена
	<b>Вставить из буфера</b>	Вставляет копию содержимого буфера
	<b>Отменить</b>	Отменяет предыдущее действие
	<b>Повторить</b>	Повторяет предыдущее действие
	<b>Увеличить масштаб рамкой</b>	Позволяет изменить масштаб отображения в активном окне с помощью прямоугольной рамки

Рисунок 59 - Изображение кнопок

Инструментальная панель находится в левой части окна и состоит из пяти отдельных страниц. Каждая содержит определенное количество кнопок, объединенных по функциональному признаку. Инструментальная панель разделена на три части: панель переключения, панель инструментов и панель специального управления (рисунок 60):

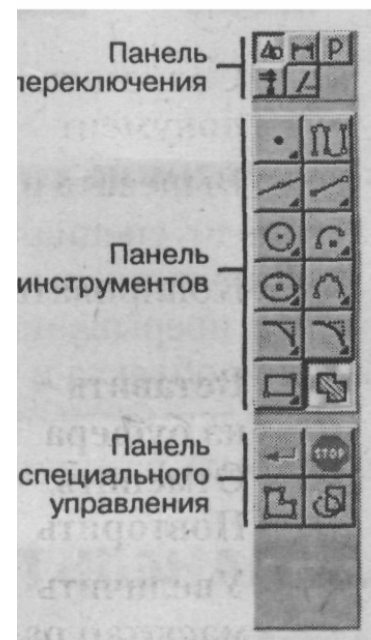





Рисунок 60 - Инструментальная панель

#### Панель переключения:

На панели переключения расположены пять кнопок:

 кнопка **Панель геометрии**. Предназначена для режима ввода геометрических объектов.

 кнопка **Панель размеров**. Предназначена для режима ввода простановки размеров и технологических обозначений.

 кнопка **Панель редактирования**. Предназначена для режима редактирования чертежно-конструкторской документации.



кнопка **Панель измерений**. Предназначена для режима измерения координат, длин, углов и площадей геометрических объектов.



кнопка **Панель выделения**. Предназначена для режима выделения графических объектов.

Каждая из пяти кнопок вызывает свою панель инструментов, сгруппированных по функциональному признаку (рисунок 61).

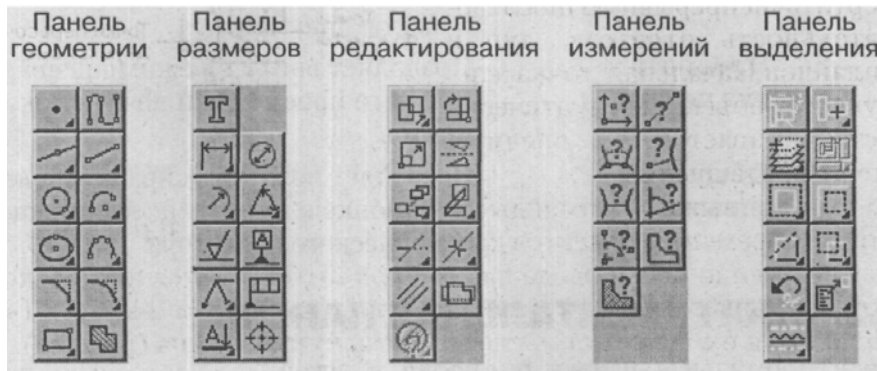


Рисунок 61 - Панель инструментов

### Панель специального управления

На панели специального управления расположены кнопки, с помощью которых выполняются специальные действия, такие как ввод объекта, прерывание текущей команды, включение автоматического создания объекта и т.д.

В зависимости от выполняемой команды набор кнопок на панели может быть различным.

Существует еще панель управления, на которой находятся 12 кнопок-команд для создания геометрических примитивов – отрезок, квадрат и т.д.

## 6.2 Алгоритмы создания документации

Когда конструктор проводит на кульмане осевую линию, он уже четко представляет себе весь ход построения чертежа. Алгоритм создания чертежей с помощью компьютерной графики, несмотря на принципиальные различия по сравнению с традиционным черчением на кульмане, имеет с ним много общего. Прежде чем приступить к проектированию детали или сборки, необходимо тщательно продумать план их построения. Искусство компьютерной графики заключается в создании чертежа с использованием минимального количества команд или щелчков мыши. Лучше потратить немного времени на разработку быстрого алгоритма построения, чем потом тратить силы на редактирование.

Основные требования к создаваемому чертежу сводятся к следующему:

1. Основные линии чертежа должны быть замкнуты. Если при выполнении чертежа на ватмане разрыв основной линии в полмиллиметра не имеет принципиального значения, то при компьютерном черчении разрыв в контуре чертежа даже в один микрон считается принципиальной и грубой ошибкой, могущей привести к сбою, например при изготовлении детали на станках с числовым программным управлением.

2. Все линии чертежа - как прямолинейные отрезки, так и кривые - должны быть проведены только один раз. Если при обычном черчении три раза прочерченная окружность одного и того же радиуса воспринимается глазом как одна, то чертежно-графический редактор воспринимает ее как три, что создает дополнительные трудности при удалении и редактировании и может послужить причиной более серьезных ошибок при трансляции и использовании электронной копии документа.

3. Соблюдать все требования единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Процесс создания чертежа осуществляется в пять этапов:

- выбор листа чертежа, его формата и оформления;
- ввод геометрии;

- простановка размеров и технологических обозначений;
- ввод технических требований;
- заполнение основной надписи или штампа чертежа.

Ниже приводятся алгоритмы построений сначала простых, потом - более сложных чертежей. Под алгоритмом здесь понимается последовательность нажатия соответствующих клавиш.

## Заключение

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы при выполнении курсового проекта. В первой части пособия рассмотрены организационные вопросы выполнения проекта с анализом тематики и технического задания. В техническом задании обязательно указывается объект установки изделия, что и определяет направление проектирования.

Достаточно подробно описаны электрические схемы, разработка сборочных чертежей и чертежей деталей. Значительное внимание уделено простановке величин шероховатости и допусков на размеры при оформлении графической части, выборе материалов и покрытий. Рассмотрены различные варианты компоновки и методов конструирования РЭС. Приведены примеры расчетов (компоновочных параметров, надежности, электромагнитной совместимости, механических воздействий).

## Список литературы

1. Конструирование радиоэлектронных средств [Текст]: учебник для вузов / В.Б. Пестряков и др; под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Радио и связь, 1992. – 432 с.
2. Парфенов, Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры [Текст]: учеб. пособие для вузов / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камашная. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
3. Компоновка и конструкции РЭА [Текст] / под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пестрякова, О.А. Пятлина. – М.: Радио и связь, 1982. – 120 с.
4. Грачев, А.А. Конструирование электронной аппаратуры на основе поверхностного монтажа компонентов [Текст] / А.А. Грачев, А.А. Мельник, Л.И. Панов. – М.: НТ пресс, 2006. – 384 с.
5. Курцев, В.З. Монтаж печатных узлов радиоаппаратуры. Технологическое оборудование для поверхностного монтажа [Текст] / В.З. Курцев. – Воронеж: ОАО “Концерн Созвездие”, 2007. – 17 с.
6. Овсишер, П.И. Несущие конструкции РЭА [Текст] / П.И. Овсишпер. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
7. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА [Текст]: справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; под ред. Э.Т. Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
8. Лярский, В.Ф. Электрические соединители [Текст]: справочник / В.Ф. Лярский, О.Б. Мурадян. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.
9. Методические указания “Обозначение чертежей по ЕСКД” 27-2002 для студентов специальности 200800 “Проектирование и производство радиоэлектронных средств” всех форм обучения / Воронеж. гос. техн. ун-т; сост. А.А. Соболев. Воронеж, 2002.

10. Стандарт предприятия 338-2003. Дипломное проектирование. Оформление расчетно-пояснительной записки и графической части. Воронеж. гос. техн. ун-т. 2003.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Механические воздействия на РЭА

Категория аппаратуры	Группа	Вибрация	Удары (g)	Дополнительные факторы
1. Наземная	1.1. Стационарная	120Гц при 4...6	Многократные до 5 Однократные до 75	Уровень акустического шума до 160дБ
	1.2. Бытовая	до 200Гц при 0.5g от 2 до 10Гц при 2g от 12 до 400Гц при 2g до 7000Гц A=25мкм		
	1.3. Переносимая 1.4. Носимая 1.5. Возимая а) на автомашине б) по железной дороге в) на гусеничном транспорте	до 30Гц при 1g до 1Гц при 1g		
2. Морская	2.1. Судовая 2.2. Буйковая	0...400 при 5g до 2500Гц при 20g	до 10	Тепловые удары до 100°С, мин Акустический шум до 150дБ Акустический шум до 150дБ, ускорение 10...50g. Возможна радиация
3. Бортовая	3.1. Самолётная 3.2. Космическая 3.3. Ракетная			

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б Вид исполнений изделий для основных климатических зон

Вид исполнения	Климат	Температура °С		Скорость ветра	Средняя относительная влажность процент	Изменения давления кПа	Дополнительные факторы
		Верхнее значение	Нижнее значение				
У	Умеренный	+40	-40	11	80% при	86...106	Обледенение, иней, роса, туман
ХЛ	Холодный	+40	-60	40			Иней, туман, обледенение, снег, гнус, комары
ТА	Тропический сухой	+45	-60	40	10...20%		Песок, грызуны, пресмыкающиеся, насекомые
ТВ	Тропический влажный а) лесной б) морской	+45	+1	10 2...3	100% при 35°С		Гроза, туманы, роса, обилие насекомых, грызунов, пресмыкающихся – способствуют развитию микроорганизмов
Т	Тропический. Для всех климатических зон	+40	-10	40			Высокая концентрация солей (концентрация до 5мг/м <sup>3</sup> на расстоянии 50м от линии прибор) вызывает ускоренную коррозию металлов и разложение органических веществ
О	а) на суше	+45	-60	40	100% при 35°С		Все воздействия сухого и влажного тропического климата Все воздействия
М	б) на море	+40	+1	10			
ОМ	в) на суше и на море	+45	-60	40			

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Покртия металлические, наносимые электrolитическим способом

Вид покрытия	Материал детали	Чистота обработки	Группа условий эксплуатации	Толщина покрытия, мкм	Обозначение, принятое в тех. документации	Назначение покрытия	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8
Цинковое	Сталь	4	Л.	3-6	Ц3.ХР	Защита от коррозии	Резьбовые крепёжные детали с шагом резьбы до 0,4мм включительно. Пружины при толщине (диаметре) до 1мм
				6-9	Ц6.ХР		Различные детали и резьбовые крепёжные детали с шагом резьбы от 0,4 до 0,8мм включительно
				15-18 24-30 15-18	Ц15.ХР Ц24.ХР Ц15.ХР. ЛКМ		Различные детали
Кадмиевое	Сталь	4	Ж. ОЖ	24-30	Кл.24ХР3	Защита от коррозии деталей, подвергающихся периодическому воздействию морской и спещсолей	Кожуха, крышки, корпуса, основания, кронштейны, шасси, рамы, экраны, прокладки и др.
				3-6 6-9 15-18	Кл.3ХР Кл.6ХР ЛПК Кл. 15ХР ЛПК		Различные детали
				3-6 6-9 15-18	Кл.3ХР Кл.6ХР ЛПК Кл. 15ХР ЛПК		
Кадмиевое	Мель и медные сплавы	4	Ж. ОЖ	Защита от коррозии	Различные детали		

152

### Продолжение приложения В

1	2	3	4	5	6	7	8			
Никелевое	Медь и медные сплавы	5	Л.	3-6	Н3	Защита от коррозии	Пружины, мембраны, другие детали при толщине (диаметре) материала до 0,5мм. Резьбовые и крепёжные детали с шагом резьбы до 0,4мм включительно			
								6	Н6	Корпуса, ручки, отражатели, диски, обоймы, держатели, контакты
Никелевое	Медь и медные сплавы	5	Л.С.	6-9	Н6	Защита от коррозии	Пружины, мембраны, пластины и др. детали при толщине (диаметре) материала от 0,5 до 1			
								6	Н12	Корпуса, ручки, отражатели, диски, держатели, контакты подвижные и неподвижные, а также различные детали
Никелевое	Медь и медные сплавы	5	Л	12-15	Н3	Защита от коррозии	Резьбовые крепёжные детали с шагом резьбы до 0,4мм включительно То же, с шагом резьбы от 0,4 до 0,8мм включительно			
								6	Н6	То же, с шагом резьбы свыше 0,8мм
								9-12 (медь 6 никель 3)	Б6Н3	Корпуса, ручки, отражатели, крышки, изоляторы и другие детали



## Окончание приложения В

1	2	3	4	5	6	7	8	
		5	Л	3-6	Ср3	Улучшение электропроводности внутренних деталей аппаратуры, с одновременной защитой от коррозии	Пружины, платины и др. детали при толщине (диаметре) материала до 1,5мм включительно. Резьбовые крепёжные детали с шагом резьбы до 0,4мм включительно	
Серебрение	Медь и медные сплавы	6	С СЖ	6-9	Ср.б	Резьбовые крепёжные детали с шагом резьбы свыше 0,4мм		
		6	С	9-12	Ср.99	Улучшение электропроводимост и внутренних деталей аппаратуры с одновременной защитой от коррозии	Различные контактные детали и детали волноводных трактов	
		Покрyтия, наносимые анодизационным способом						
Окисное	Алюминий и его сплавы	5	Л	-	Ан.окс. Ан.окс.хр. Ан.окс. (цвет красителя)	Защита от коррозии	Корпуса, рамы, кронштейны и др. детали, в том числе шильдики	
		Не оговаривается	Ж ОЖ	-	Ан.окс. ЛНК Ан. окс. кр. лнк.			

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г Допустимые и недопустимые контакты между металлами, сплавами покрытиями

Соприкасающиеся материалы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Серебряное, золотое, палладиевое покрытие	000	000	000	000	222	222	000	000	112	222	000	122	000
Медь, латунь, бронза (без покрытия)	000	000	000	000	222	222	000	000	012	112	000	112	000
Никелевое покрытие	000	000	000	000	012	012	000	000	001	012	000	001	000
Хромовое покрытие	000	000	000	000	011	011	000	000	000	012	000	000	000
Многослойное покрытие	222	222	012	011	000	000	012	012	011	000	112	000	000
Кадмиевое покрытие	222	222	012	011	000	000	011	011	011	000	112	000	000
Лакопорошковые покрытия (ЛКП)													

Продолжение приложения Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Оловянное и оловянно-свинцовое покрытие	000	000	000	000	012	011	000	000	000	011	000	011	000
Нержавеющая сталь	000	000	000	000	012	011	000	000	001	012	000	001	000
хромоникелевая													
Алюминий и его сплавы	112	012	001	000	011	011	000	001	000	000	000	000	000
оксидированные													
Алюминий и его сплавы	222	122	012	012	000	000	011	012	000	000	112	000	000
Титан и титановые сплавы	000	000	000	000	112	112	000	000	000	112	000	001	000
Азотированная сталь	122	112	001	000	000	001	001	001	000	000	001	000	000
Лакокрасочные покрытия (ЛПК)	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000

Условные обозначения: 0 – при соприкосновении коррозии не возникает;

1 – при соприкосновении возможна незначительная коррозия (можно использовать, если в месте контакта деталей всё время присутствует смазка или когда у неподвижных деталей места контактов предохраняются от воздействия внешней среды лаком или эмалью);

2 – при соприкосновении возникает сильная коррозия (металлы необходимо разделять защитными покрытиями или электроизоляционными прокладками)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д  
Рекомендации по выбору шероховатости

Шероховатость	Рекомендации по применению
1	2
R <sub>z</sub> 320 R <sub>z</sub> 160	Очень грубые поверхности, не подвергающиеся механической обработке, поверхности отливок повышенного и высокого качества, получаемых литьем в землю
R <sub>z</sub> 80	Грубые, не соприкасающиеся друг с другом поверхности
R <sub>z</sub> 40	Поверхности деталей, не соприкасающиеся с другими поверхностями и не используемые в качестве технологических баз
R <sub>z</sub> 20	Поверхности деталей, прилегающие к поверхностям других деталей, не трущиеся и не подвергающиеся износу
R <sub>a</sub> 2,5	Прилегающие друг к другу, но не трущиеся поверхности высокого качества. Свободные поверхности тонкостенных внутренних деталей приборов. Базовые поверхности, предназначенные для установки деталей, допуски расположения которых находятся в пределах допусков квалитетов H8, h8, h7 и точнее. Декоративные поверхности хорошего качества
R <sub>a</sub> 1,25	Трущиеся поверхности, к которым не предъявляются высокие требования в отношении износоупругости и стабильности сохранения зазора или взаимного расположения. Базовые поверхности, предназначенные для установки деталей, допуски расположения которых находятся в пределах допусков квалитетов H8, h8, h7 и точнее. Декоративные поверхности хорошего качества
R <sub>a</sub> 0,63	Соприкасающиеся поверхности, достаточно хорошо противостоящие износу



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Поля допусков и предельные отклонения валов ОСТ 23.4.100-76																									
Квалитеты Интервалы номинальных размеров, мм	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	поле допуска												
	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	
величины отклонений																									
От 1 до 3	0	0	-14	0	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 3 " 6	-6	-10	-28	-14	-45	-25	-40	-60	-100	-140	-250	-400	-600	-1000	-1500	-2200	-3200	-4500	-6500	-9500	-13500	-19000	-27000	-38000	-52000
" 6 " 10	-8	-12	-38	-18	-60	-30	-48	-75	-120	-180	-300	-480	-750	-1200	-1800	-2700	-4000	-5800	-8500	-12500	-18000	-26000	-37000	-50000	-68000
" 10 " 14	-9	-15	-47	-22	-76	-36	-58	-90	-150	-220	-360	-580	-900	-1500	-2200	-3300	-4800	-7000	-10000	-14000	-20000	-28000	-39000	-52000	-70000
" 14 " 18	-11	-18	-59	-27	-93	-43	-70	-110	-180	-270	-430	-700	-1100	-1800	-2700	-4000	-5800	-8500	-12500	-18000	-26000	-37000	-50000	-68000	-90000
" 18 " 24	0	0	-40	0	-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 24 " 30	-13	-21	-73	-33	-117	-52	-84	-130	-210	-330	-520	-840	-1300	-2100	-3300	-5200	-8400	-13000	-21000	-33000	-52000	-84000	-130000	-210000	-330000
" 30 " 40	0	0	-50	0	-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 40 " 50	-16	-25	-89	-39	-142	-62	-100	-160	-250	-390	-620	-1000	-1600	-2500	-3900	-6200	-10000	-16000	-25000	-39000	-62000	-100000	-160000	-250000	-390000
" 50 " 65	0	0	-60	0	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 65 " 80	-19	-30	-106	-46	-174	-74	-120	-190	-300	-460	-740	-1200	-1900	-3000	-4600	-7400	-12000	-19000	-30000	-46000	-74000	-120000	-190000	-300000	-460000
" 80 " 100	0	0	-72	0	-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 100 " 120	-22	-35	-126	-54	-207	-88	-140	-220	-350	-540	-870	-1400	-2200	-3500	-5400	-8700	-14000	-22000	-35000	-54000	-87000	-140000	-220000	-350000	-540000
" 120 " 140	0	0	-85	0	-145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 140 " 160	-25	-40	-148	-63	-245	-100	-160	-250	-400	-630	-1000	-1600	-2500	-4000	-6300	-10000	-16000	-25000	-40000	-63000	-100000	-160000	-250000	-400000	-630000
" 160 " 180	0	0	-100	0	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 180 " 200	-29	-46	-172	-72	-285	-115	-185	-290	-450	-720	-1150	-1850	-2900	-4500	-7200	-11500	-18500	-29000	-45000	-72000	-115000	-185000	-290000	-450000	-720000
" 200 " 225	0	0	-110	0	-190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 250 " 280	-32	-52	-191	-81	-320	-130	-210	-320	-520	-810	-1300	-2100	-3200	-5200	-8100	-13000	-21000	-32000	-52000	-81000	-130000	-210000	-320000	-520000	-810000
" 280 " 315	0	0	-125	0	-210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 315 " 355	-36	-57	-214	-89	-350	-140	-230	-350	-570	-890	-1400	-2300	-3500	-5700	-8900	-14000	-23000	-35000	-57000	-89000	-140000	-230000	-350000	-570000	-890000
" 355 " 400	0	0	-135	0	-230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 400 " 450	0	0	-135	0	-230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 450 " 500	-40	-63	-232	-97	-385	-115	-250	-400	-630	-970	-1550	-2500	-4000	-6300	-9700	-15500	-25000	-40000	-63000	-97000	-155000	-250000	-400000	-630000	-970000

## Продолжение приложения Е

Поля допусков и предельные отклонения отверстий ОСТ 23.4.100-76																									
Квалитеты Интервалы номинальных размеров, мм	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	поле допуска												
	H6	H7	K7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
величины отклонений, мкм																									
От 1 до 3	+8	+10	0	+14	+25	+40	+80	+100	+140	+250	+400	+600	+1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 3 " 6	+8	+12	+3	+18	+30	+48	+75	+120	+180	+300	+480	+760	+1300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 6 " 10	0	0	-9	+3	+22	+38	+58	+90	+150	+220	+360	+580	+900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 10 " 14	+11	+18	+6	+27	+43	+70	+110	+180	+270	+430	+700	+1100	+1800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 14 " 18	0	0	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 18 " 24	+13	+21	+6	+33	+52	+84	+130	+210	+330	+520	+840	+1300	+2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 24 " 30	0	0	-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 30 " 40	+16	+25	+7	+39	+82	+100	+160	+250	+390	+620	+1000	+1600	+2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 40 " 50	0	0	-18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 50 " 65	+19	+30	+9	+46	+74	+120	+190	+300	+460	+740	+1200	+1900	+3000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 65 " 80	0	0	-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 80 " 100	+22	+35	+10	+54	+87	+140	+220	+350	+540	+870	+1400	+2200	+3500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 100 " 120	0	0	-25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 120 " 140	+25	+40	+12	+63	+100	+160	+250	+400	+630	+1000	+1600	+2500	+4000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 140 " 160	0	0	-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 160 " 180	0	0	-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 180 " 200	+29	+46	+13	+72	+115	+185	+290	+460	+720	+1150	+1850	+2900	+4600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 200 " 225	0	0	-33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 225 " 250	0	0	-33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 250 " 280	+32	+52	+16	+81	+130	+210	+320	+520	+810	+1300	+2100	+3200	+5200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 280 " 315	0	0	-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 315 " 355	+36	+57	+17	+89	+140	+230	+360	+570	+890	+1400	+2300	+3600	+5700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 355 " 400	0	0	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 400 " 450	+40	+63	+18	+97	+135	+250	+400	+630	+970	+1550	+2500	+4000	+6300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
" 450 " 500	0	0	-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**  
**Варианты установки навесных элементов по ОСТ 4**  
**ГО.010.030-81**

Варианты		Конструктивное исполнение	Обозначение	Рекомендуемая область применения
установки	формовки			
1	A		1a	На платах, изготовленных любым методом, с односторонним расположением печатных проводников. При двустороннем расположении печатных проводников под элементы с электропроводным корпусом предусмотреть изоляцию, если под ними проходят проводники
	B		1б	
2	A		2a	На платах, изготовленных любым методом, с одно и двусторонним расположением печатных проводников
	B		2б	
	B		2в	
3	-		3	
4	-		4	Для межплатной конструкции печатного узла и на платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников
5	A		5a	На платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников. При двустороннем расположении печатных проводников под элементами предусмотреть изоляцию, если под ними проходят проводники.

**Продолжение приложения Ж**

Б		5б	На платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников	
		5в		
6	A		6a	На платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников
	B		6б	На платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников
	B		6в	На платах с одно- и двусторонним расположением печатных проводников при применении теплопроводящих шин и электроизоляционных прокладок
7	A		7a	На платах, изготовленных любым методом, с одно- и двусторонним расположением печатных проводников
	B		7б	На платах с одно- и двусторонним расположением печатных проводников с применением прокладок для увеличения жесткости крепления
8	A		8a	На платах с одно- и двусторонним расположением печатных проводников
	B		8б	На платах с односторонним расположением печатных проводников с обязательным применением прокладок или теплопроводящих металлических шин
	B		8в	На платах с односторонним расположением печатных проводников с установкой на мастику АН по периметру. При двустороннем расположении печатных проводников под корпусами микросхем предусмотреть электроизоляционное покрытие



**ПРИЛОЖЕНИЕ И**  
**Перечень стандартов единой системы**  
**конструкторской документации (ЕСКД)**

№ п/п	Номер стандарта	Наименование стандарта
1	2	3
1	ГОСТ 2.004-88	ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах ввода ЭВМ
2	ГОСТ 2.101-68	ЕСКД. Виды изделий
3	ГОСТ 2.102-68	ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов
4	ГОСТ 2.104-68	ЕСКД. Основные надписи
5	ГОСТ 2.105-95	ЕСКД. Общие требования к текстовым документам
6	ГОСТ 2.106-96	ЕСКД. Текстовые документы
7	ГОСТ 2.109-73	ЕСКД. Основные требования к чертежам
8	ГОСТ 2.113-75	ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы
9	ГОСТ 2.123-93	ЕСКД. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании
10	ГОСТ 2.305-68	ЕСКД. Изображения - виды, разрезы, сечения
11	ГОСТ 2.307-68	ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений

**Продолжение приложения И**

1	2	3
12	ГОСТ 2.308-79	ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей
13	ГОСТ 2.309-73	ЕСКД. Обозначение шероховатости поверхностей
14	ГОСТ 2.310-68	ЕСКД. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки
15	ГОСТ 2.314-68	ЕСКД. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий
16	ГОСТ 2.316-68	ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
17	ГОСТ 2.413-72	ЕСКД. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготавливаемых с применением электрического монтажа
18	ГОСТ 2.414-75	ЕСКД. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов
19	ГОСТ 2.417-91	ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей
20	ГОСТ 2.701-84	ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
21	ГОСТ 2.702-75	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем
22	ГОСТ 2.708-81	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники

**Продолжение приложения И**

1	2	3
23	ГОСТ 2.723-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители
24	ГОСТ 2.725-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие
25	ГОСТ 2.727-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники; предохранители
26	ГОСТ 2.728-74	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы; конденсаторы
27	ГОСТ 2.729-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные
28	ГОСТ 2.730-73	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые
29	ГОСТ 2.735-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Антенны и радиостанции
30	ГОСТ 2.736-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные. Линии задержки
31	ГОСТ 2.737-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства связи

**Окончание приложения И**

1	2	3
32	ГОСТ 2.743-91	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники
33	ГОСТ 2.747-68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений
34	ГОСТ 2.755-87	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения
35	ГОСТ 2.759-82	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники
36	ГОСТ 2.761-80	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических систем передачи
37	ГОСТ 2.764-86	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации
38	ГОСТ 2.765-87	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Запоминающие устройства
39	ГОСТ 2.767-89	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Реле защиты
40	ГОСТ 2.768-90	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники электрохимические, электротермические и тепловые

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

(справочное)

### Примеры присвоения обозначения КХ деталям и сборочным единицам

РАБВ.301122.001	КОРПУС
301129.001	КОРПУС
301156.001	КОРПУС
301171.001	КОРПУС
301172.001	КОРПУС
301216.001	РАМА
301222.001	РАМА
301224.001	РАМА
301228.001	РАМА
301231.001	КАРКАС
301251.001	КРЫШКА
301252.001	КРЫШКА
301262.001	КРЫШКА
301314.001	ОСНОВАНИЯ (ШАССИ)
301318.001	ПОДСТАВКА
301319.001	ШВЕЛЛЕР
301532.001	СКОБА
301536.001	ЗАЖИМ
301561.001	КРОНШТЕЙН
303657.007	ЗАМЫКАТЕЛЬ
303659.001	КНОПКА
304134.001	ПЛАНКА
304275.001	ОГРАНИЧИТЕЛЬ
305135.001	ЧЕХОЛ
305143.001	КОЖУХ
305178.001	ЭКРАН
321175.001	ЯЩИК (ТАРНЫЙ)
321226.001	ЯЩИК (УКЛАДОЧНЫЙ)
321241.001	КОРПУС (ЯЩИКА)

## Продолжение приложения К

321242.001	КРЫШКА (ЯЩИКА)
321243.001	ДЕТАЛИ КОРПУСА
321244.001	ДЕТАЛИ КОРПУСА
321245.001	ДЕТАЛИ КОРПУСА
322453.001	ЧЕХОЛ
322459.001	РЕМЕНЬ
323229.001	КОРОБКА
323359.001	ПЕРЕПЛЕТ
РАБВ.323366.001	МЕШОК
323382.001	СУМКА
433531.001	ГЕНЕРАТОР КВАРЦЕВЫЙ
434156.001	РЕЗИСТОР
434416.001	СОЕДИНИТЕЛЬ
436234.001	БЛОК ПИТАНИЯ
436634.001	БЛОК ПИТАНИЯ
436636.001	ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
464314.001	УСТРОЙСТВО ПРИЕМНОЕ
464318.001	ПРИЕМНИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ДУПЛЕКСНЫЙ
464425.001	РАДИОСТАНЦИЯ
464511.001	РАДИОСТАНЦИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ
464522.001	ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК
464946.001	УПАКОВКА
464953.001	КОМПЛЕКТ ЗИП-0
464974.001	УСТРОЙСТВО ПЕРЕХОДНОЕ
467872.001	СИНТЕЗАТОР
467874.001	СИНТЕЗАТОР

**Продолжение приложения К**

468313.001	ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ
468332.001	БЛОК АВТОМАТИКИ, ПУЛЬТ ЗАПИСИ
468353.001	ЯЧЕЙКА СОПРЯЖЕНИЯ
468362.001	УСТРОЙСТВО АВТОМАТИКИ
468363.001	УСТРОЙСТВО КОММУТАЦИИ
468365.001	ЯЧЕЙКА УПРАВЛЕНИЯ
468567.001	УСТРОЙСТВО СОГЛАСОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
468592.001	ФИЛЬТР ДУПЛЕКСНЫЙ
468753.001	БЛОК ОПОРНЫХ ЧАСТОТ
468754.001	ГЕНЕРАТОР, УПРАВЛЯЕМЫЙ НАПРЯЖЕНИЕМ
468781.001	ГЕНЕРАТОР ШУМА
468731.001	УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ
468732.001	УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ
468822.001	ЯЧЕЙКИ ФИЛЬТРОВ
469637.001	ПАНЕЛЬ ПЕРЕДНЯЯ
671121.001	ТРАНСФОРМАТОР
671159.001	ТРАНСФОРМАТОР
671331.001	ДРОССЕЛЬ
671332.001	ДРОССЕЛЬ
РАБВ.684456.001	СЕРДЕЧНИК
684459.001	СЕРДЕЧНИК
685122.001	ГНЕЗДО, ШТЕПСЕЛЬ
685422.001	КАТУШКА (ДЕТАЛЬ)

**Продолжение приложения К**

685432.001	КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ
685442.001	КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ
685619.001	СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНОЕ
685621.001	ЖГУТ
685624.001	ЖГУТ
685626.001	ЖГУТ
685661.001	СОЕДИНЕНИЕ КАБЕЛЬНОЕ
686470.001	ЭКРАН
686471.001	ЭКРАН
687151.001	ЗАДЕЛКА КАБЕЛЬНАЯ
687222.001	ЗАЖИМ
687241.001	ПЛАТА
687242.001	ПЛАТА
687243.001	ПЛАТА
687244.001	ПЛАТА
687253.001	ПЛАТА
687264.001	ПЛАТА
687281.001	ПЛАТА
687289.001	ПЛАТА
ДЕТАЛИ	
РАБВ.711141.001	КОЛЬЦО
711192.001	ДИСК
711351.001	ВТУЛКА
711352.001	КРЫШКА
711742.001	ВТУЛКА
713141.001	ВТУЛКА
713151.001	КОРПУС, СТОЙКА
713161.001	ВТУЛКА
713162.001	ВТУЛКА



**Продолжение приложения К**

713241.001	ВТУЛКА
713313.001	ВТУЛКА
713342.001	ВТУЛКА
713352.001	КОРПУС
713361.001	ВТУЛКА
РАБВ.713363.001	ЦАНГА
713511.001	ШТЫРЬ
713533.001	КОЛОНКА
713553.001	ВТУЛКА
713651.001	ВТУЛКА
713753.001	ВТУЛКА
714151.001	ОГРАНИЧИТЕЛЬ, ВТУЛКА
715142.001	ВТУЛКА
715221.001	СТЕРЖЕНЬ
715231.001	КОЛОНКА
715353.001	НАКОНЕЧНИК
715411.001	КОНТАКТ
715412.001	ФИКСАТОР, ПОВОДОК
715441.001	КОЛОНКА
715521.001	КОЛОНКА
715523.001	СТЕРЖЕНЬ
715533.001	КОЛОНКА
715534.001	ШТЫРЬ
715611.001	КОНТАКТ
715713.001	ЛОВИТЕЛЬ
715731.001	СТОЙКА
715732.001	ГНЕЗДО
715324.001	КЛЮЧ ТОРЦОВЫЙ
715331.001	СТЕРЖЕНЬ
715511.001	ЛОВИТЕЛЬ
723111.001	ТРУБА
723232.001	ЦАНГА

**Продолжение приложения К**

725112.001	ЭКРАН, ЗАГЛУШКА
725113.001	ЭКРАН, ЗАГЛУШКА
725121.001	ЭКРАН, ЗАГЛУШКА
725234.001	ОБЕЧАЙКА
725313.001	КОЛПАЧОК
725316.001	КОЖУХ
731147.001	КОРПУС
731192.001	КРЫШКА
731197.001	КОРПУС
731421.001	КАРКАС
732112.001	КОРПУС
732116.001	КОРПУС
РАБВ.732161.001	КОРПУС
732311.001	КОРПУС
733251.001	ШАССИ
734311.001	КАРКАС, СТОЙКА
734313.001	ОСНОВАНИЕ
734568.001	КОЛПАЧОК
735211.001	КРЫШКА
735312.001	ЭКРАН
735313.001	ЭКРАН
735314.001	ЭКРАН
735315.001	ОБЕЧАЙКА
735319.001	ЭКРАН
735321.001	КОРОБКА(ЭКРАН)
735352.001	КРЫШКА
735412.001	ЭКРАН
741121.001	ЗАГЛУШКА, ПРОКЛАДКА
741124.001	ЗАГЛУШКА, ПРОКЛАДКА + ЭКРАН
741124.001	ЗАГЛУШКА, ПРОКЛАДКА
741125.001	ЗАГЛУШКА, ПРОКЛАДКА

**Продолжение приложения К**

741126.001	ЗАГЛУШКА, ПРОКЛАДКА
741127.001	ПЛАНКА
741128.001	ПЛАНКА
741131.001	ПРОКЛАДКА, РУЧКА
741135.001	ПЛАНКА
741168.001	ПЛАНКА, КРОНШТЕЙН
741214.001	ПЛАНКА
741234.001	КРЫШКА, ПЛАНКА
741241.001	КРЫШКА, ПЛАНКА
741244.001	ЭКРАН
741278.001	КРОНШТЕЙН
741314.001	ЭКРАН
741316.001	ЭКРАН
741338.001	НАПРАВЛЯЮЩАЯ
741351.001	ПЛАНКА
741354.001	ЭКРАН
741364.001	ОСНОВАНИЕ
741374.001	ОПОРА
741378.001	КРОНШТЕЙН
741424.001	ПЛАНКА
РАБВ.741434.001	КРОНШТЕЙН
741512.001	ПЛАНКА
741542.001	ОСНОВАНИЕ
742152.001	НАПРАВЛЯЮЩАЯ
743613.001	КРЮЧОК
743614.001	КРЮЧОК
743651.001	ЗВЕНО
745112.001	ПРОКЛАДКА
745212.001	СКОБА
745222.001	ЭКРАН
745226.001	КОНТАКТ
745243.001	ПЛАНКА

**Продолжение приложения К**

745311.001	РУЧКА
745312.001	СКОБА
745316.001	СКОБА
745319.001	СКОБА
745321.001	ВКЛАДЫШ, ПРОКЛАДКА
745322.001	ОСНОВАНИЕ, ЭКРАН, ШВЕЛЛЕР
745335.001	СТЕНКА
745352.001	СКОБА
745361.001	ШВЕЛЛЕР
745419.001	СКОБА
745421.001	ЭКРАН
745425.001	СКОБА
745429.001	СКОБА
745438.001	ВКЛАДЫШ
745461.001	ПРУЖИНА
745472.001	ЭКРАН
745513.001	УГОЛЬНИК, КОЖУХ
745515.001	СКОБА
745522.001	СКОБА
745535.001	ЭКРАН
745552.001	СКОБА
746714.001	СКОБА
746723.001	СКОБА
746714.001	СКОБА
746763.001	СКОБА
747151.001	ТРУБА
752694.001	РАДИАТОР
РАБВ.752695.001	РАДИАТОР
753221.001	СТОЙКА
753312.001	ЧАШКА
753513.001	ПРУЖИНА

**Продолжение приложения К**

753713.001	РУЧКА
753731.001	РУЧКА
753781.001	НАКЛАДКИ
753782.001	НАКЛАДКИ
754142.001	ПРОКЛАДКИ
754152.001	ПРОКЛАДКИ
754156.001	ПРОКЛАДКИ
754175.001	ПРОКЛАДКИ
754342.001	ТАБЛИЧКА
754521.001	КРЫШКА
755417.001	СВЕТОФИЛЬТР
755471.001	СТЕКЛО
755481.001	СТЕКЛО
757274.001	ШУНТ
757445.001	ПРОВОД
757451.001	КАБЕЛЬ
757452.001	КАТУШКА
757455.001	КАБЕЛЬ
757461.001	ВЫВОД
757466.001	ЛЕПЕСТОК
757471.001	ГНЕЗДО, КОНТАКТ
757513.001	ИЗОЛЯТОР
757532.001	ПРОКЛАДКА
757562.001	КАРКАС
758123.001	ВИНТ
758141.001	ВИНТ
758151.001	ВИНТ
758154.001	ПОДСТРОЧНИК
758221.001	СЕРДЕЧНИК
758421.001	ГАЙКА
758424.001	ГАЙКА
758443.001	ГАЙКА

**Окончание приложения К**

758448.001	ГАЙКА
758471.001	ГАЙКА
758473.001	ГАЙКА
	ШАЙБА
<b>РАБВ.758481.001</b>	
758491.001	ШАЙБА
758493.001	ИЗОЛЯТОР
758584.001	ШАЙБА
758721.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758722.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758723.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758724.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758725.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758727.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758729.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ
758791.001	ПЛАТА ПЕЧАТНАЯ

СААР 433531.001	ГЕНЕРАТОР КВАРЦЕВЫЙ
434156.001	РЕЗИСТОР
434416.001	СОЕДИНИТЕЛЬ
436234.001	БЛОК ПИТАНИЯ
436634.001	БЛОК ПИТАНИЯ
436636.001	ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
464314.001	УСТРОЙСТВО ПРИЕМНОЕ
464318.001	ПРИЕМНИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ДУПЛЕКСНЫЙ

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

(Справочное)

### Правила нанесения на чертежах технических требований ГОСТ 2.316

#### 1. Технические требования на чертежах

1.1 Технические требования на чертеже излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру требования.

а) Требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической и другим видам обработки.

б) Размеры, предельные отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей, массы и т.п.

- \* Размеры для справок.

в) Требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытии.

г) Требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия.

з) Указания о маркировании и клеймении:

- Маркировать краской ... (указать марку, цвет, ТУ) шрифтом ... (указать размер) по ГОСТ 26.020-80.

- на (указать наименование детали) поз. ... маркировать краской ... (указать марку, цвет, ТУ) по ГОСТ 26.020-80.

1) регистрационный номер, шрифт ... (указать размер);

2) код блока, шрифт ... (указать размер).

- Пломбировать.

- Клеймить ... (указать способ клеймения, шрифт – при необходимости)

1) клеймо ОТК.

- Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014 (для деталей).

- Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015 (для сборочных единиц).

#### 2 Рекомендации по оформлению технических требований в чертежах на литые детали

1 Материал – заменитель: ... (указать марку сплава и ГОСТ).

2 Отливка 1гр. по ОСТ4.021.203-87 или по ГОСТ 977-88.

3\* Размеры для справок

4\*\* Размеры обеспеч. инстр.

5 Неуказанные радиусы скруглений ... мм.

6 Литейные уклоны для внутренних поверхностей ... град. (указать величину) в сторону увеличения размеров, для наружных поверхностей ... град. (указать величину) в сторону уменьшения размеров.

7. Литейные уклоны ... (указать поверхность) недопустимы.

8. Шероховатость механически обработанных поверхностей ... (указать значение параметров шероховатости).

9 Деталь пескоструить, кроме резьбовых отверстий и поверхностей, обозначенных ... (указать условное обозначение).

10 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014.

#### 3. Рекомендации по оформлению технических требований к сборочным чертежам на печатные платы и на ячейки с печатными платами

Данные рекомендации изложены в виде примера записи наиболее часто применяемых технических требований на чертежах и не должны рассматриваться как пример полного оформления технических требований сборочного чертежа.

1 ПОС 61 ГОСТ 21930-76.

2 ПОСК 50-18 ГОСТ 21930-76.

3 Клей ВК-9 ОСТ4 ГО.029.204

4 Клей эластосил 137-83 ТУ6-02-1237-83.

5 Паста КПП-8 ГОСТ 19783-74.

6\* Подбирают при регулировании.

7\*\* Размеры для справок.

8\*\*\* Размеры обеспеч. инстр.

9 Покрытие после настройки и регулирования лак УР-231.У2.3 ТУ6-21-14-90, кроме (поверхностей, лепестков, заклепок, регулировочных винтов, гнезд, переключателей ...). Допускается лак ЭП-9114 У2.2 ТУ6-21-3-89.

10 Стопорить по ОСТ4 ГО.019.200: поз. ... вид ... (Винт поз. стопорить по ОСТ ... вид ...).

Лепестки поз ... развести (развальцевать) на (90 ! 3)\*\* и опаять ПОС 61 (со стороны подхода печатного проводника).

11 Маркировка элементов (и лепестков) показана условно в соответствии со схемой электрической принципиальной ... Э3.

12 Маркировать эмалью ЭП-572 черной О2 ТУ6-10-1539-76 шрифтом 3 ГОСТ 26.020-80:

а) код ячейки (четыре последние цифры обозначения платы);

б) заводской номер.

13 Клеймить: клеймо ОТК.

14 Базовому выводу многовыводных элементов на плат соответствует контактная площадка с «усиком».

15 Установку элементов производить по ОСТ4.010.030-81. Шаг координатной сетки ... , элементы ... установить по варианту ..., элементы ... - по варианту ...».

\* Установку элементов ... производить по виду .. (для элементов, не вошедших в ОСТ4.010.030)

16 Концы проводов зачистить на длину ... мм и лудить ПОС 61.

17 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015.

#### ***4 Рекомендации по оформлению технических требований в сборочных чертежах моточных трансформаторов высокочастотных с намоткой на ферритовых кольцах или магнитопроводов***

1 Сердечники термотренировать при температуре ... °С (указать температуру) в течение ... (указать продолжительность) часов.

2 Сердечник поз. ... (указать позицию) перед намоткой обернуть локотканью поз. ... .

3 Острые кромки сердечника притупить.

4 ПОС 61 ГОСТ ... концы выводов лудить на длину 5<sup>+2</sup> мм

5 Клей ... (указать марку, ГОСТ).

6 (Указание по оформлению выводов и отводов).

а) Выводы и отводы крепить нитками поз. ... (указать позиции). Места крепления покрыть клеем ... (Указать марку клея, ГОСТ)

или

б) Выводы и отводы оформить проводом обмотки. Отводы оформит петлёй.

7 Концы локоткани поз. ... (указать позицию) крепить клеем ... (указать марку), или концы фторопласта поз. ... (указать позицию) крепить нитками поз. ... (указать позицию), места крепления покрыть клеем (указать марку).

8\* Размеры для справок.

9 Выводы зачистить на длину ... (указать размер) и лудить ... (указать марку припоя и ГОСТ).

10 Маркировать выводы нанесением цветных поясков шириной ... (указать величину) эмалью ... (указать марку, ГОСТ). Цвет – согласно таблице.

11 Технические требования по ОСТ4 ГО.075.200.

12 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015.

#### ***5 Рекомендации по оформлению технических требований в чертежах на детали из пластмасс***

- 1 Материал-заменитель ... (указать марку и ГОСТ).
- 2 \* Размеры для справок.
- 3 Неуказанные радиусы скруглений ... (указать величину) мм.
- 4 Технологические уклоны для внутренних поверхностей ... (указать величину) в сторону уменьшения размеров.
- 5 Неуказанные предельные отклонения размеров:
  - отверстий – по ... (указать предельные отклонения поля допуска отверстия);
  - валов – по ... (указать предельные отклонения поля допуска вала);
  - остальных – по ... (указать предельные отклонения неотчетливых размеров).
- 6 Маркировать краской ... (указать марку, цвет, ТУ), шрифт ... (указать размер) по ГОСТ 26.020-80.
- 7 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.005.051.

**6 Рекомендации по оформлению технических требований в чертежах на детали из керамического материала**

- 1 Материал – заменитель ... (указать марку и ГОСТ).
- 2 \* Размеры для справок.
- 3 \*\* Размеры, обеспеч. инстр.
- 4 Неуказанные радиусы скруглений ... (указать величину) мм.
- 5 Литейные уклоны не менее ... град (указать размер с допуском).
- 6 Неуказанные предельные отклонения размеров назначают по четвертой группе точности.
- 7 Покрытие поверхности А ВЖ. Ср 20 ... 30. Площадь серебрения  $F = \dots \text{ см}^2$
- 8 Поверхности серебрения лудить ... (указать марку припоя, ГОСТ).

- 9 Остальные технические требования по ОСТ 107.750.750.001-88.

**7 Рекомендации по оформлению технических требований в чертежах сборочно-сварных соединений и сварных деталей.**

- 1 Сварные швы 2 класса по ОСТ 4ГО. 005.247-82.
- 2 Сварные швы по ГОСТ ... (при наличии на чертеже швов, выполняемых по одному и тому же стандарту).
- 3 Сварка контактная по ОСТ4ГО.054.261-80 (для контактной сварки цветных металлов).
- 4 Допускается исправления дефектов сварных швов с помощью ... (указать конкретный способ согласно ОСТ4 ГО.005.247-82).
- 5 \* Размеры для справок.
- 6 Шероховатость обрабатываемых поверхностей ... (указать шероховатость поверхностей).
- 7 Покрытие ... (указать конкретное покрытие).
- 8 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015 (для сборочных единиц) или по ОСТ4 ГО.070.014 (для деталей).

**Памятка при разборке и проверке чертежей**

**1 При разработке чертежей необходимо:**

- 1 Оптимальное применение стандартных изделий, а также изделий, освоенных производством и соответствующих современному уровню техники.
- 2 Рациональное ограничение номенклатуры резьб, канавок и других конструктивных элементов, а также типоразмеров, покрытий, марок материалов, при этом по возможности избежать применения дефицитных.
- 3 Выбирать наиболее выгодный способ изготовления деталей, учитывая требования технологичности.

4 Применять условные обозначения (знаки, линии, буквенно и буквенные-цифровые обозначения) установленные в государственных стандартах.

5 Наличие всех размеров, предельных отклонений, шероховатости поверхности, покрытия, необходимых при изготовлении детали, причем размеры и шероховатость поверхности указывают до покрытия.

6 На чертежах деталей и сборочных единиц указывают массу изделия

7 На чертежах допускается давать ссылки на государственные, отраслевые, республиканские стандарты и технические условия, которые полностью и однозначно определяют соответствующие требования

8 Наименование изделия записывают в именительном падеже единственного числа в основной надписи чертежа, на первом месте помещая имя существительное, например: «Колесо зубчатое».

9 В случае современной обработки детали на оба изделия должны быть выпущены а общем порядке самостоятельные чертежи с указанием на них всех размеров,

предельных отклонений, шероховатости поверхностей и других необходимых данных.

## **2 При проверке чертежей необходимо обращать внимание на:**

1 Комплектность документов.

2 Правильность составления спецификации и других текстовых документов.

3 Соответствие перечней электрических схем спецификациям на сборочные чертежи и ведомости покупных изделий.

4 Применение разрешенных материалов, крепежных изделий и т. д.;

в противном случае, оформление разрешений в установленном порядке.

5 Правильность ссылок на стандарты.

6 Наличие необходимых подписей и дат.

7 Правильность постановки и наличие всех необходимых размеров, указание о шероховатости и предельных отклонениях формы и расположения поверхностей, нанесение обозначений покрытий, термической и других видов обработки.

8 Необходимое количество проекций, правильность видов, сечений, разрезов, выносных элементов.

9 Соблюдение масштабов и форматов (при выпуске чертежей на 2 или более листах размеров одной из сторон должен быть одинаков).

10 Соответствие количества номеров, позиций изделий на сборочных чертежах спецификациям.

11 Наличие изображений на установку элементов, отсутствующих в отраслевом стандарте, при выполнении сборочных чертежей печатных плат.

12 Соответствие маркировки проводов, жгутов, кабелей таблицам соединений.

## **При проверке документов в электронном виде необходимо обращать внимание на:**

1 наличие регистрационного номера носителя информации.

2 Отсутствие вирусов.

3 Размер листа соответствующий формату разрабатываемого документа.

4 Наличие подписей в основных надписях разрабатываемых документов и их соответствия.

5 Проверку контрольной суммы.

## Оглавление

Введение	4
1 Организационные вопросы курсового проектирования	5
1.1 Место курсового проектирования в изучении дисциплины «Основы проектирования ЭС»	5
1.2 Цели и задачи курсового проектирования	5
1.3 Тематика курсового проектирования	6
1.4 Анализ технического задания	6
1.4.1 Оформление расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части	8
2 Указания по выполнению графических работ	9
2.1 Правила выполнения схем	10
2.2 Выполнение схем	11
2.3 Правила выполнения чертежей	12
2.4 Конструирование РЭС с использованием поверхностного монтажа	40
2.5 Материалы для коммутационных плат	49
2.6 Проектирование узлов на печатных платах для поверхностного монтажа	52
2.7 Конструктивные размеры поверхностно-монтируемых компонентов согласно ГОСТ 20.39.405-84	55
2.8 Обозначение чертежей по ЕСКД	63
2.9 Особенности исследовательских курсовых проектов	69
3 Последовательность курсового проекта	73
3.1 Методология проектирования конструкций РЭС	73
3.2 Анализ существующих конструкций и выбор метода конструирования	74
3.3 Электрические соединители	81
3.4 Выбор материалов, покрытий и шероховатостей поверхностей	84
3.5 Параметры шероховатостей поверхностей	85
3.6 Нанесение размеров и предельных отклонений	

на чертежах	87
4 Конструкторские расчеты	90
4.1 Компоновочные расчеты блока РЭС	90
4.2 Электрическая совместимость	93
4.2.1 Магнитное экранирование на низких частотах (1-3 кГц)	95
4.2.2 Магнитное экранирование на повышенных и высоких частотах	97
4.2.3 Электрическое экранирование	98
4.3 Рекомендации к выполнению экранов	99
4.3.1 Для случая магнитного экранирования	99
4.3.2 Для случая электрического экранирования	101
4.3.3 Для случая электромагнитного экранирования	102
4.4 Расчет параметров печатного монтажа	102
4.5 Расчет теплового режима	109
4.6 Механические воздействия	110
4.6.1 Расчет на действие вибрации	110
4.6.2 Расчет на действие удара	113
4.7 Расчет надежности при конструкторском проектировании	116
5 Автоматизированный расчет заданного теплового режима радиоэлектронных модулей	123
6 Краткое руководство пользователя автоматизированной системой разработки конструкторской документации Компас версии V8-V10	140
6.1 Панель управления	142
6.2 Алгоритмы создания документации	146
Заключение	148
Список литературы	149
Приложение А Механическое воздействие на РЭА	150
Приложение Б Вид исполнений изделий для основных климатических зон	151
Приложение В Покрытия металлические, наносимые электролитическим способом	152



Приложение Г Допустимые и недопустимые контакты между металлами, сплавами покрытиями	155
Приложение Д Рекомендации по выбору шероховатости	157
Приложение Е Поля допусков и предельные отклонения валов и отверстий ОСТ 23.4.100.76	158
Приложение Ж Варианты установки навесных элементов по ОСТ 4 ГО.010.030-81	160
Приложение И Перечень стандартов единой системы конструкторской документации (ЕСКД)	162
Приложение К Примеры присвоения обозначения КХ деталям и сборочным единицам	166
Приложение Л Правила нанесения на чертежах технических требований ГОСТ 2.316	176

Учебное издание

Башкиров Алексей Викторович

**КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ОСНОВАМ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ**

В авторской редакции

Подписано к изданию 01.09.2015

Объем данных 10,6 Мб

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14