

Министерство образования РФ Ульяновский государственный технический  
университет

Н.С. Шляпников

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Учебное пособие к практике-работе по дисциплине «Проектирование  
радиоэлектронных средств» направления 55.11.00

Ульяновск 2001

Оглавление Введение .....	4
1. Методические рекомендации по организации и проведению курсового проектирования .....	5
2. Состав и содержание курсового проектирования .....	10
3. Проектирование модуля первого уровня .....	44
4. Проектирование модуля второго уровня..!.....	78
5. Требования к разработке сборочных чертежей .....	125
6. Методика расчета теплового режима .....	130
7. Обеспечение совместимости в конструкциях РЭС .....	147
8. Количественный анализ технологичности конструкций пластмассовых деталей .....	166

## *ВВЕДЕНИЕ*

В процессе подготовки инженерно-технических кадров наряду с традиционными формами и методами обучения необходимо использовать новые, способствующие активизации познавательной деятельности студентов, формированию самостоятельности их мышления и направленные на быструю адаптацию молодых специалистов в реальных производственных условиях.

В свете изложенного большие возможности представляет курсовое проектирование, если оно соответствует разработкам с учетом требований государственных (ГОСТ) и отраслевых (ОСТ) стандартов

Основная цель пособия — привить студентам навыки выполнения конструкторских работ, оказать им помощь в решении технических задач по конструированию РЭА, научить их пользоваться стандартами и в первую очередь стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), неразрывно связанной с Единой системой технологической документации (ЕСТД) и единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Так как стандарты постоянно развиваются и дополняются, то все изменения необходимо учитывать при курсовом проектировании.

Данное руководство предназначено для студентов по направлению 55.11.00 «Проектирование и производство РЭА» и может использоваться и другими смежными специальностями, а также при дипломном проектировании.

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1. Роль курсового проектирования

Согласно программе дисциплины «Проектирование РЭА» основной задачей курса является изучение принципов создания, расчета и конструирования изделий РЭА и отражения ее в конструкторской документации.

Курсовое проектирование — творческий процесс выбора структуры, размеров, формы изделия в целом и его частей, функциональных связей между частями, материалов и методов их изготовления.

Курсовое проектирование должно прежде всего научить студента самостоятельно работать и закрепить знания, полученные на лекциях, лабораторных и практических занятиях, которые далее применяют при выполнении дипломного проекта.

Курсовой проект является завершающим этапом в процессе конструкторско-технологической подготовки студентов.

## 1.2. Цель и задачи курсового проектирования

Целью курсового проекта является систематизация, закрепление и расширение полученных теоретических знаний, приобретение практических навыков создания, расчета и конструирования РЭА в соответствии с действующими стандартами! ЕСКД, ГОСТ и ОСТ. В процессе курсового проектирования студент должен продемонстрировать умение использовать теоретические знания, накопленные в результате изучения предшествующих дисциплин, для решения конкретной конструкторской задачи.

Таким образом, для успешного проведения курсового проектирования студент должен:

- > глубоко изучить физические процессы, протекающие в РЭА, их влияние на электрические параметры;
- ^ расширить знания по технологическим процессам, применяемым при изготовлении РЭА;
- > уметь оценивать технологичность конструкции детали и изделия РЭА в целом; уметь анализировать результаты расчета и принимать соответствующие конструкторские решения с целью обеспечения параметров РЭА;
- > выполнять требования, предъявляемые к оформлению конструкторской документации; применять автоматизированные системы проектирования конструкторской документации (САПР-конструктор);
- > научиться пользоваться технической литературой, в том числе справочниками, стандартами и другими нормативно-техническими документами (НТД), применяемыми на промышленных предприятиях.

Основная задача курсового проекта — реализовать системный подход в разработке конструкции РЭА, производство которой можно реализовать с наименьшими затратами.

## 1.3. Особенности курсового проектирования

Особенности курсового проектирования отражают специфику изучаемой дисциплины, так как конструирование РЭА рассматривается со следующих точек зрения:

- > анализ схмотехнического решения РЭА;
- > анализ конструктивных особенностей электронной аппаратуры, которая разрабатывается и изготавливается специализированными предприятиями;
- овладение основами методов схмотехнического решения и расчетов, конструирования РЭА;
- > овладение основами современных методов оценки технологичности конструкции детали и изделия в целом.

При такой постановке вопроса курсовые проекты могут быть следующих видов:

- > разработка схемы электрической РЭА на основе заданных , технических требований;
- > разработка конструкции РЭА (на основе заданной электрической схемы РЭА и перечня элементов к ней), для которой сформулированы требования к параметрам при заданных условиях эксплуатации, надежности и др. показателей;
- > осуществление разработки какого-либо радиотехнического изделия (катушки индуктивности, трансформатора и т.д.), для которого сформулированы различные технические требования при определенных условиях эксплуатации;
- > разработка и изготовление учебных стендов и инструкций по эксплуатации.

#### *1.4. Темы курсовых проектов*

Темы курсовых проектов должны быть актуальными, отвечать нуждам промышленных предприятий.

В соответствии с программой дисциплины «Проектирование радиоаппаратуры» за основу можно принять темы курсовых проектов:

- > разработка схемы электрического узла (блока) РЭА;
  - > конструирование радиоаппаратуры в виде узла на печатной плате;
- > конструирование радиоаппаратуры в виде блока с проводным монтажом;
- > конструирование различных типов электронных узлов (пьезоэлектрических, акустоэлектрических и т.д.); > конструирование различных типов радиоустройств (микросхемы, трансформаторы и т.д.).

#### *1.5. Техническое задание на курсовое проектирование*

Основанием для разработки любой радиоаппаратуры является техническое задание (ТЗ). Техническое задание на проектирование РЭА должно включать следующие исходные данные:

- > наименование проектируемого изделия;
- > электрические и конструктивные параметры;
- > тип аппаратуры, для которой предназначено изделие, и условия эксплуатации;
- > перечень вопросов, подлежащих разработке;
- > перечень графического материала;
- рекомендуемый список литературы;
- > сроки выдачи и окончания проектирования.

#### *1.6. Организация курсового проектирования*

Для организации курсового проектирования на предметно-цикловой комиссии разрабатывается методическая документация, определяющая тематику курсовых проектов, количество часов на их выполнение, и методические указания к работе.

Кроме того, комиссия проводит мероприятия по совершенствованию руководства курсовым проектированием, организует конкурсы на лучший курсовой проект, осуществляет действенный контроль за качеством курсовых проектов из числа опытных преподавателей и высококвалифицированных специалистов, работающих на предприятиях.

Руководитель проекта оказывает помощь студенту в выполнении курсового проекта, рекомендует необходимую литературу, проводит систематические консультации, проверяет выполнение работ (по частям и в целом) и организует защиту проектов.

Контроль руководителя не освобождает студента от ответственности за правильность выполнения проекта и принятых решений.

Учитывая ограниченное время обучающегося, особое внимание заслуживает планирование их самостоятельной работы. В табл. 1.1 приводится примерный график работ по выполнению курсового проекта.

Одной из форм организации самостоятельной работы студента являются

консультации, которые можно подразделить на установочные, организационные перед началом курсового проектирования, текущие, проводимые руководителем проекта систематически в течение курсового проектирования.

Консультации, проводимые руководителем проекта, по способу проведения могут быть:

Таблица 1.1

Стадия разработки	Примерная последовательность работ	Срок выполнения
Анализ технического задания	Подбор и изучение литературы по теме. Анализ технического задания: назначения изделия, требования по параметрам конструкции, требования к воздействующим факторам, требования к надежности и др.	
Проработка схемотехнического решения	Анализ аналогичных схем электрических, разработка схемы, выбор элементной базы	
Предварительная проработка конструкции	Поиск вариантов конструктивного решения, выбор материалов, несущих конструкций, защита от механических нагрузок и других внешних факторов, обеспечение теплового режима.	
Окончательная разработка конструкции	Конструирование печатной платы, анализ схемной и конструктивной надежности, расчет теплового режима, оценка технологичности, расчет размерных цепей, влияние выбранных материалов на окружающую среду	
Разработка конструкторской документации	Оформление схемы электрической и перечня элементов, разработка чертежей сборочных единиц и деталей, разработка чертежа печатной платы, разработка спецификаций и др. оговоренные ТЗ	
Разработка текстовой документации	Оформление пояснительной записки, заключения (нормоконтроль)/	
Подготовка к защите		

> Консультация-совет, при которой даются советы, как лучше организовать работу над проектом; далее студенты задают возникшие вопросы и консультация продолжается в вопросно-ответной форме.

> Консультация-разъяснение, являющаяся наиболее распространенной; консультация проводится в вопросно-ответной форме и назначается после соответствующего этапа работы над проектом с целью систематизации приобретенных обучающимся знаний и подтверждения правильности хода проектирования. На консультацию обучающийся обязан являться подготовленным. Поэтому руководитель не всегда должен давать готовые и исчерпывающие ответы на все вопросы. Он отвечает на такие вопросы, которые не нашли соответствующего отражения в учебниках, являются спорными или возникли в результате реализации принятого технического решения. Даже в этом случае преподаватель не должен давать исчерпывающие объяснения: необходимо убедиться в том, что обучающийся правильно понял основное и может самостоятельно продолжать рассматриваемый этап работы.

> Консультация-обсуждение, при которой руководитель начинает с краткого вступительного слова и отвечает на вопросы, связанные с уточнением особенностей рассматриваемой конструкции. Руководитель в определенной последовательности ставит перед обучающимся вопросы и организует их ответы и обучение, в котором принимают участие как студенты, так и руководитель. В заключении руководитель обобщает итоги обсуждения, указывает на недостатки и положительные результаты работы.

## 2. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 2.1. Состав курсового проекта

Курсовой проект состоит из текстовых (пояснительная записка) и графических конструкторских документов.

## *2.2. Содержание курсового проекта 2.2.1. Пояснительная записка*

Пояснительная записка включает в себя:

- >• титульный лист;
- > техническое задание;
- > содержание;
- > введение;
- > разработка и анализ технического задания;
- > анализ схемы электрической;
- > выбор элементной базы;
- > разработка конструкции изделия;
- > заключение;
- > список литературы;
- > приложение.

В зависимости от темы курсового проекта отдельные разделы пояснительной записки допускается дополнять или исключать, что отражается в техническом задании.

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (формы 2, 2а ГОСТ 2.104 — 68 ЕСКД «Форматы»). Текст оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в разделе 8 настоящего руководства.

Объем пояснительной записки должен составлять примерно 50 — 60 листов.

### *2.2.1.1 Титульный лист*

Титульный лист является первым листом пояснительной записки. Титульный лист выполняется на листах формата А4 (форма 2) от руки чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304 — 81.

Цифры и буквы пишутся черной тушью (допускается карандашом) без наклона. Наименование темы — строчными буквами (кроме первой) шрифтом 5. Остальной текст — строчными буквами шрифтом 3.

Наименование темы должно соответствовать принятой терминологии и быть по возможности кратким. Наименование темы записывают в именительном падеже в единственном числе. На первом месте помещают имя существительное. В наименовании темы, как правило, не включают сведения о назначении изделия.

Примеры записи темы курсового проекта:

- «Приемник радиовещательный»;
- «Преобразователь «код — напряжение»»;
- «Усилитель импульсных сигналов».

### *2.2.1.2. Техническое задание*

Техническое задание (ТЗ) формулируется с учетом требований раздела 1 настоящего руководства и в общее число листов пояснительной записки не входит.

ТЗ, утвержденное руководителем проекта, выдается студенту. Пример оформления ТЗ смотри в приложении в конце раздела.

### *2.2.1.3. Содержание*

Содержание пояснительной записки оформляется на листах формата А4 по форме 2 ГОСТ 2.104 — 68 и при необходимости на следующих листах по форме 2а.

Содержание включается в общее количество листов пояснительной записки. Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами.

Наименование разделов, включенные в содержание, записывают строчными буквами, кроме первой прописной.



#### *2.2.1.4. Введение*

Введение является первым разделом пояснительной записки. В нем обосновывается актуальность разработки данной конструкции изделия, формулируется решаемая задача конструкторского проектирования, отмечается та часть проекта, которая позволила получить оригинальное конструкторское решение.

Подчеркивается необходимость разработки, указывается область использования достигнутых результатов.

Объем раздела «Введение» - не более двух страниц.

#### *2.2.1.5. Анализ технического задания*

##### *2.2.1.5.1 Исходные теоретические и практические данные*

Основными данными для конструирования любой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) являются техническое задание (ТЗ) и схема электрическая принципиальная (ЭЗ). Общие методические указания по конструированию РЭА, начиная с ранних стадий анализа, нацелены на реализацию системного подхода к конструированию. В настоящих указаниях раскрыта методика конструкторского анализа технического задания и схемы электрической принципиальной. В результате анализа ТЗ уточняются и конкретизируются технические требования к конструкции изделия.

Конструкторский анализ исходных данных — начало творческой работы конструктора. На данном этапе конструктор должен представить себе первоначальный образ конструкции разрабатываемого изделия. Анализ рекомендуется выполнять в такой последовательности:

- > произвести анализ требований ТЗ;
- > выполнить анализ схем ЭЗ, уяснить принцип работы изделия;
- > произвести анализ элементной базы;
- > изучить конструкторские аналоги.

В результате анализа требований ТЗ должно быть конкретно установлено следующее:

- > назначение изделия;
- > место установки и условия эксплуатации;
- > способы сочленения разрабатываемого изделия с объектом установки;
- > требования к габаритам, массе, форме изделия;
- > требования защиты от климатических воздействий;
- > требования защиты от механических воздействий;
- > требования обеспечения электромагнитной и тепловой совместимости;
- > требования обеспечения ремонтпригодности;
- > требования по обеспечению технологичности конструкции;
- > требования обеспечения электрической прочности и техники безопасности;
- > требования технической эстетики и эргономики;
- > экономические требования;
- > остальные требования, учитывающие конструктивные особенности изделия.

##### *Анализ схемы электрической принципиальной*

Его целесообразно проводить на уровне функциональной схемы. При этом удается выделить функциональные узлы и устройства, которым в последующем можно придать конструктивную обособленность. При анализе ЭЗ целесообразно установить рабочие частоты, определить элементы и узлы, чувствительные к паразитным наводкам, которые, в свою очередь, могут являться источниками помех, а также сделать выводы о целесообразности экранирования. Необходимо уяснить, какие органы управления и индикации должны быть вынесены на лицевую панель, какие из элементов и приборов являются наиболее тяжелыми и требуют специального крепления, какие элементы являются теплонагруженными. Следует также определить, какими элементами внешней электрической связи изделие соединено с другими устройствами, установить наличие высоковольтных цепей с тем, чтобы, с одной стороны, обеспечить электрическую прочность, а с другой — безопасность работы оператора. На основании выполненного анализа необходимо уяснить принцип работы конструируемого изделия.

### *Цель анализа элементной базы*

Состоит в том, чтобы установить, соответствует ли элементная база заданным характеристикам конструируемого изделия при предусмотренных ТЗ условиях эксплуатации и, в случае несоответствия, предложить конструктивные методы обеспечения нормального функционирования изделия. При таком анализе производится также оценка схемной надежности. Сопоставление данных, полученных на основе анализа условий эксплуатации, с характеристиками ЭРЭ позволяет конструктору сделать обоснованные выводы.

### *Анализ конструкторских аналогов*

В качестве конструкторских аналогов, в соответствии с ГОСТ 2.116 — 84, следует выбирать изделия, имеющие то же функциональное назначение, что и разрабатываемое. Как правило, конструкторские аналоги по параметрам должны соответствовать лучшим отечественным и зарубежным образцам.

Цель выполнения анализа конструктивных решений аналогов состоит в том, чтобы конструктор мог представить себе образ будущего изделия. Помимо этого, при выполнении такого анализа конструктор изучает наиболее удачные решения элементов и узлов, конструкции и технологию их изготовления с тем, чтобы использовать их в разрабатываемом изделии, обеспечивая тем самым преимущество конструкторской разработки. При изучении конструкций РЭА аналогичного назначения необходимо оценить внешнюю компоновку с точки зрения обеспечения удобства работы оператора и выполнения требований технической эстетики. Следует изучить способы обеспечения ремонтпригодности, влагозащиты, в том числе методы защиты конструкционных материалов от коррозии, обеспечения теплового режима; установить особенности внутренней компоновки, крепления конструктивно-функциональных узлов на несущей конструкции, способы выполнения электрического монтажа, конструктивные методы обеспечения электромагнитной совместимости, защиты от механических воздействий.

При выполнении лабораторной работы анализ технического задания рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- > назначение изделия;
- > требования к конструкции;
- > требования по устойчивости к внешним воздействующим факторам;
- > требования к надежности;
- > эксплуатационные ограничения;
- > требования технологии изготовления;
- > требования электробезопасности.

В ТЗ на конструирование в краткой форме со ссылками на стандарты и литературу указывают основные данные о назначении, конструктивно-технологических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Целью анализа является расширение информации об имеющихся данных на основе использования литературных источников, стандартов, а также уточнение и конкретизация технических ограничений на конструирование изделия РЭА.

В настоящее время актуальным является применение сквозных САПР, поэтому с ранних стадий анализа ТЗ можно приступать к автоматизации конструирования. Для автоматизации анализа ТЗ и дальнейшего конструирования РЭА с применением ЭВМ следует упорядочить и формализовать данные о назначении, конструктивно-технических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Как справочные данные об аналогичных и стандартных конструкциях, так и данные для анализа, представляемые в ЭВМ в виде банков данных, должны быть с так называемым открытым доступом (типа КАМА — ДИАЛОГ, КВАНТ и др.). Такая форма представления ТЗ и банков данных позволяет иметь гибкую систему автоматизированного конструирования в условиях быстро изменяющейся номенклатуры комплектующих элементов, новой элементной базы и т.п.

Обращение к банкам данных с помощью терминальных средств позволяет широкому кругу разработчиков конструкций РЭА пользоваться справочными или другими источниками информации.

Диалоговый режим работы конструктора, начатый на этапе анализа ТЗ, может быть продолжен на этапе синтеза конструктивных решений при обращении к проверочным программным модулям (оценки теплового режима, конструктивной надежности и т.п.). Завершающим звеном сквозной САПР могут быть автоматизированные рабочие места (АРМ) для выпуска конструкторской и технологической документации.

Анализ назначения изделия в целом интересует конструктора с точки зрения ограничений электрического, механического и информационного сопряжения с другими объектами и человеком. Уточняются и расширяются ограничения, которые должны обеспечить заданное функционирование изделия. Конструктивно-технологические ограничения на конструирование изделия могут быть заданы в соответствии со стандартами (например, ГОСТ 20504 — 81 и СТСЭВ 3266 — 81), размерами аналогичной конструкции или специальными, индивидуальными ограничениями. Если в ТЗ на конструкцию изделия ограничения указаны в соответствии со стандартами или аналогичной конструкцией, то набор возможных габаритных размеров для изделия может храниться в банке данных автоматизированной системы конструирования. Причем типоразмер модуля связан с определенными показателями качества, число которых можно ограничить и в самом простейшем случае свести к одному — главному или обобщенному. Окончательный выбор типоразмера модуля связан с решением оптимизационной задачи синтеза.

На стадии анализа ТЗ на основе уточненных данных о назначении конструкции изделия следует расширить сведения о механических, климатических и радиационных факторах внешней среды в соответствии с ГОСТ 21552 — 84, ГОСТ 15484 — 81, ГОСТ 18298 — 79, ГОСТ 14254 — 96.

Последующая стадия анализа предполагает условное разбиение изделия на подсистемы в соответствии с принятой конструктивной иерархией (рис.2.1). Исходные данные на конструирование для каждого рассматриваемого уровня конструктивной иерархии РЭА определяются в соответствии с результатами разработки более высокого уровня. Причем, назначение, конструктивно-технологические ограничения и условия эксплуатации отдельных подсистем должны соответствовать требованиям ТЗ на конструкцию изделия в целом.

Используя модульный принцип, выполнить разбиение несложно. Однако правильность выполненного разбиения следует проверить на соответствие ТЗ. Следующий этап конструирования РЭА принято называть синтезом. Он выполняется методом агрегатирования подсистем (т. е. объединением) и оптимизацией конструктивных решений элементов конструкции.

Проверка конструктивного решения изделия начинается с согласования размеров подсистем. Размеры корпусов элементной базы известны из предшествующей стадии анализа. С учетом этих данных оценивают размеры платы, затем блока и изделия в целом. Для оценки размеров плат и блоков можно использовать рекомендации ОСТ 4ГО.010.009 1...5, которые дают обобщенную информацию о размерах, электрических и механических связях между элементами на плате и в блоке. Дальнейшее согласование требований и конструктивных решений элементов выполняется в соответствии с показателями качества, технологичности, микроминиатюризации, конструктивной надежности, теплового режима, механических воздействий и т. п.

Каждое свойство изделия РЭА, его функциональный показатель имеют свой материальный эквивалент в виде массы, объема, площади, стоимости и т. д. Символически это можно выразить относительными показателями качества, например, по критерию массы  $km = m/\Phi$ , по критерию объема  $ku = V/\Phi$ , по критерию площади  $k^A = S/\Phi$ , по критерию стоимости  $k^C = C/\Phi$  и т. п., где  $m$  — масса, кг;  $V$  — объем, м<sup>3</sup>;  $S$  — площадь, м<sup>2</sup>;  $C$  — стоимость, руб.;  $\Phi$  — функциональный показатель (быстродействие, разрядность и т. п.)

В технических требованиях к конструкции указывают в различной форме показатели качества. Часто масса изделия является критичной величиной, и в техническом задании указывают предельное ее значение или оговаривают, что  $K_m < K_m \text{ пред}$

Технологические показатели задаются в ТЗ. Например, по ГОСТ

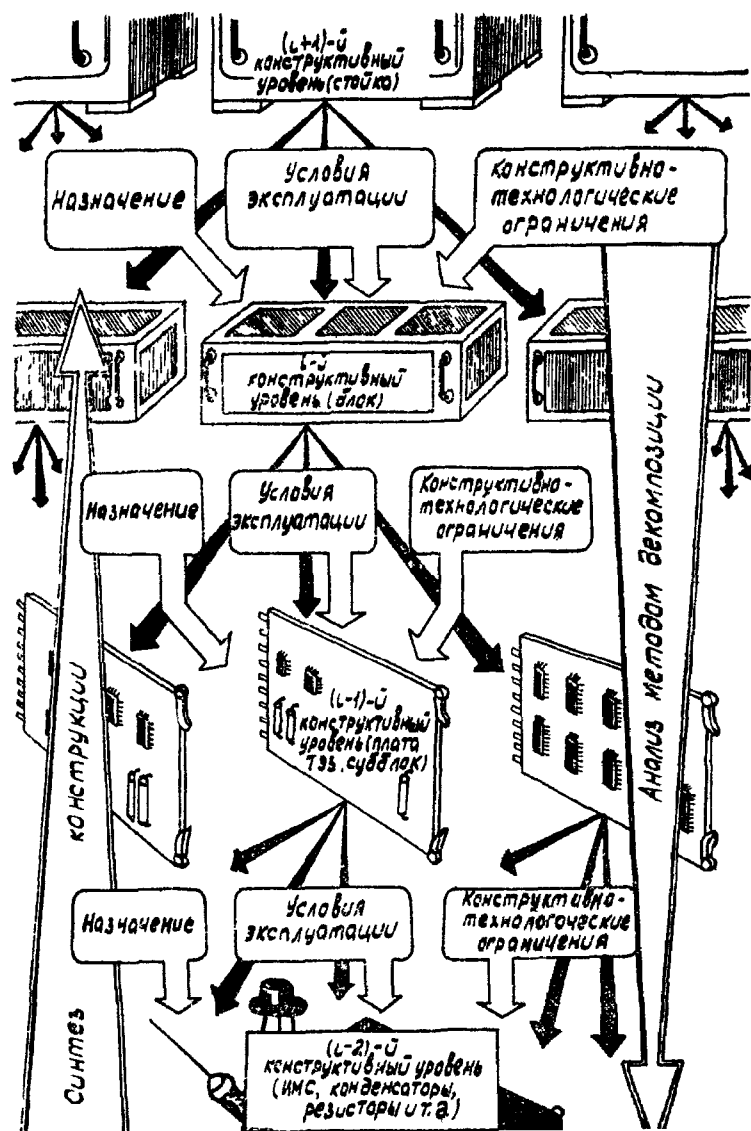


Рис. 2.1. Анализ и синтез конструкции РЭА

20397 — 82 для технических средств малых ЭВМ коэф. применяемости  $K_{иц}$ , должен быть не менее 40%. Причем конструируемые изделия в большинстве случаев должны соответствовать агрегатному принципу построения.

Изделия должны удовлетворять требованиям эргономики и технической эстетики. Рекомендуется использовать ГОСТ 24750 — 81, и ГОСТ 12.3.033 — 84. Размеры шрифта надписей, наносимых на панели управления и сигнализации изделий, должны соответствовать ГОСТ 2930 — 62 или ГОСТ 26.020 — 80.

В требованиях на конструирование изделия РЭА указываются ограничения по устойчивости к внешним воздействующим факторам в соответствии с ГОСТ 15150 — 69, ГОСТ 17785 — 72, ГОСТ 16962.1 — 89, ГОСТ 21552 — 84. Требования к надежности на изделия конкретного вида указывают в соответствии с ГОСТ 20397 — 82.

Особого внимания в ТЗ на конструирование микроминиатюрной РЭА заслуживает показатель микроминиатюризации. Следует отметить, что показатель плотности упаковки (как отношение количества элементов к объему изделия) слабо характеризует качество конструктивной проработки устройства и определяется в основном степенью интеграции использованных покупных элементов (ИМС, резисторы, конденсаторы и т. п.).

Целесообразно использовать два показателя плотности упаковки :

отношение количества радиоэлементов  $M_{эрэ}$  к полезному объему  $V_n$ , в котором реализуются функции изделия, т. е. объем корпусов элементов схемы электрической принципиальной (ЭЗ):

$$K_1 = N_{эрэ} / V_n; \quad (2.1)$$

отношение количества элементов к общему объему  $V_y$

$$K_2 = N_{эрэ} / V_y \quad (2.2)$$

Отношения (2.1) и (2.2) показывают, во сколько раз ухудшается показатель плотности упаковки из-за зазоров конструкций, плат, электрических соединителей и т. п.:

$$k_{30} = k_2 / k_1 = V_n / V_y$$

Таким образом, коэффициент  $k_y$  характеризует как бы меру дезинтеграции устройства, его называют коэффициентом заполнения объема радиоэлектронного устройства. Обратная ему величина

$$1/k_{30} = k_1/k_2 = V_y/V_n \text{ характеризует меру интеграции.}$$

Если интегральные микросхемы (ИМС) и другие электрорадиоэлементы (ЭРЭ) являются 1-м конструктивным уровнем, а плата, кассета и т. п. — 2-м уровнем, то коэффициент заполнения объема для модуля 1-го уровня  $k_{301} = 1$ , а для 2-го уровня

$$K_{302} = \left( \sum_{q=1}^p N_q V_q \right) / V_2$$

где  $N_q$  — число корпусов элементов  $q$ -го типа в модуле 2-го уровня;  $V_q$  — объем корпуса элемента  $q$ -го типа ( $q = 1, 2, \dots$  — номер типа корпуса);

$V_2$  — объем модуля 2-го уровня.

Коэффициент заполнения объема для конструктивного уровня

$$k_{30a} = (N_{d-1} V_{d-1}) / V_d,$$

где  $N_{d-1}$  — число модулей уровня  $(a-1)$ ;  $V_{d-1}$  — объем модуля уровня  $(a-1)$ ;

$V_d$  — объем модуля уровня  $d$ . Если модули различны по объему, то

$$k_{30a} = \left( \sum_{i=1}^t V_{d-1} \right) / V_d,$$

где  $i = 1, 2, \dots, t$  — номер модуля уровня  $(d-1)$ .

Коэффициент заполнения объема всего изделия РЭА определяется произведением

$$k_{30} = \prod_q k_{30q}.$$

Иначе его можно рассчитать по формуле

$$k_{30} = \left( \sum_{q=1}^p N_q^* V_q \right) / V_y,$$

где  $N_y$  — общее число корпусов элементов  $q$ -го типа в устройстве.

Величина  $k_{03}$  лежит в пределах  $0 \leq k_{03} \leq 1$ . Она показывает, какую часть от общего объема прибора (стойки) составляет объем элементов, необходимых для изделия РЭА.

При самостоятельном использовании этого критерия его можно выражать в процентах

(2.3)

$$k_{03} = \frac{\sum_{q=1}^p N_q^* V_q}{V_y} \cdot 100.$$

Из формулы (2.3) видно, что коэффициент заполнения объема радиоэлектронного устройства уменьшается с увеличением числа конструктивных уровней РЭА.

Уровень микроминиатюризации изделия для источников питания целесообразно оценивать коэффициентом

$$\mu_1 = (V_a - V_M) / V_a,$$

где  $V_M$  — объем устройства, подвергнутого микроминиатюризации;

$V_a$  — объем аналога в обычном исполнении.

При самостоятельном использовании этого критерия его можно выражать в процентах

$$\mu_1' = (V_a - V_M) 100 / V_a.$$

В качестве аналога выбирается ближайший прототип того же функционального назначения в обычном (не в микроминиатюрном) исполнении. В некоторых случаях удобно пользоваться коэффициентами

$$\mu_1 = (G_a - G_M) / G_a,$$

где  $G_M$  — масса устройства, подвергнутого микроминиатюризации;  $G_a$  — масса аналога в обычном исполнении, или в процентах

$$\mu_2' = \frac{G_a - G_M}{G_a} 100.$$

Значения этих коэффициентов лежат в пределах

$$0 \leq \mu_1 \leq 1; \quad 0 \leq \mu_2 \leq 1;$$

$$0 \leq \mu_1' \leq 100\%; \quad 0 \leq \mu_2' \leq 100\%.$$

При повышении качества устройства эти коэффициенты приближаются к единице (100%).

### **Анализ схемы электрической принципиальной**

Одним из основных конструкторских документов на функциональный узел (ФУ) устройства РЭА является схема электрическая принципиальная (ЭЗ). Схема электрическая принципиальная определяет полный состав радиоэлементов ФУ и связи между ними. Она позволяет иметь полное представление о принципе работы ее и служит основанием для разработки других конструкторских документов (сборочный чертеж, чертеж для электромонтажа, схем соединений, чертежей печатных плат и т.д.). Эти схемы также используются для изучения принципов работы изделий при их наладке, контроле и ремонте.

На принципиальной схеме изображаются все устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, и все электрические связи между ними, а также электрические элементы (разъемы, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

При выборе ЭРЭ — конденсаторов, резисторов и др. прежде всего, необходимо исходить из требований схемы и условий эксплуатации этих элементов. При повышении надежности изделия ЭРЭ желательно ставить в режимы, обеспечивающие достаточный запас по рассеиваемой мощности и по напряжению не менее 50%.

Условия использования ЭРЭ в аппаратуре должны соответствовать техническим условиям на выбранный элемент. Относительно применения комплектующих ЭРЭ, установочных и др. деталей следует придерживаться таких рекомендаций:

> применять ЭРЭ только серийного и массового производства, нормализованные или унифицированные;

> количество типонаименований ЭРЭ сводить к минимуму;

> не применять ЭРЭ, полупроводниковые приборы, микросхемы в условиях и режимах, превышающих установленные ТУ. При выборе ЭРЭ надо помнить о таких характеристиках, как надежность, стабильность, точность и стоимость.

Анализ схемы электрической принципиальной обязательно должен предшествовать компоновочным работам и рекомендуется проводить в следующей последовательности:

> выяснение назначения и функционирования схемы, сопоставление условий эксплуатации технических условий на использование элементов, базы;

- > выделение наиболее критичных элементов по электромагнитной совместимости и тепловому режиму;
- > анализ органов управления, индикации и присоединения, выделение модулей согласно функционально-узловому принципу;
- ^ анализ связей между модулями;
- > выявление установочных и присоединительных размеров элементной базы.

Анализ назначения электрической принципиальной схемы конкретизирует электрические и технические параметры изделия, изучение особенностей функционирования ЭЗ, поясняет особенности и связи проектируемого изделия с другими устройствами, модулями и человеком-оператором.

Сравнение условий эксплуатации изделия и технических условий на использование элементной базы начинается с конкретизации технических условий эксплуатации и ограничения их конструирования РЭА с заданными элементами по справочной литературе. Сравнение условий эксплуатации изделия и технических условий на использование элементной базы должно отразить основные направления конструирования РЭА в плане обеспечения нормальной работы ЭЗ. На этом этапе анализа необходимо указать возможные конструктивные решения по защите от климатических внешних воздействий.

Если техническими требованиями на проектируемое изделие задан температурный интервал работы устройства от  $-50$  до  $+60$  °С, то без дополнительных мероприятий нельзя использовать элементы, способные удовлетворительно работать по своим техническим условиям в диапазоне температур  $-40 \dots +70$  °С или  $-60 \dots +50$  °С. Более того, неправильным будет также использование элемента, который может эксплуатироваться в том же самом диапазоне температур —  $56 + 60$  °С.

Анализ ЭЗ и элементной базы с точки зрения обеспечения теплового режима выполняется в соответствии с исходными данными:

- > для блока — рассеиваемая мощность, допустимый перегрев нагретой зоны, удельная мощность нагретой зоны, давление окружающей среды;
- > для индивидуального элемента — рассеиваемая мощность, удельная мощность нагретой зоны, допустимая температура окружающей среды, максимально допустимое значение гидравлического сопротивления, требования к теплоносителю: удельное объемное сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь.

Задача студента на заданном этапе анализа ЭЗ выявить наиболее критичные по электромагнитной совместимости (ЭМС) электромонтажные связи и определить элементы, которые могут быть источниками значительного количества тепла или обладать большой чувствительностью к перегреву.

Анализ ЭЗ на ЭМС рекомендуется выполнять исходя из:

- > быстродействия или частоты полезного сигнала;
- > формы, вида сигнала;
- > числа связей, которые должны располагаться параллельно (например, в числе данных);
- ^ параметров возможных генераторов и приемников помех в ЭЗ, возможных длин связей в пределах конструируемого изделия и вне его.

Такой анализ ЭЗ позволяет при конструировании электромонтажа рассчитать допустимые параметры электрических длинных и коротких линий. Пример анализа ЭЗ приведен в приложении.

Анализ органов управления, индикации и присоединения ЭЗ позволяет уточнить требования к конструкции РЭА в соответствии с основным назначением изделия. При анализе органов управления и индикации следует изучить возможность применения новейших перспективных элементов управления и отображения. В последние годы достигнуты значительные успехи в результате использования в качестве устройств отображения алфавитно-цифровой и графической информации, применяемых в приборах индивидуального, группового и коллективного пользования, жидкокристаллических, полупроводниковых, газоразрядных, вакуумных, люминесцентных индикаторов.

В соответствии с ТЗ может возникнуть необходимость сравнить заданную надежность со схемной надежностью принципиальной схемы

В проверочном расчете схемной надежности учитывается только количество и тип применяемых ЭРЭ.

#### 2.2.1.5.2 Рекомендации и правила графического оформления принципиальной схемы

Схемы выполняются для изделий, находящихся в отключенном положении. Элементы схемы показывают условными графическими обозначениями, установленными стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.721, 2.722, 2.723, 2.725, 2.726). Размеры условных графических обозначений элементов установлены стандартами на условные графические обозначения.

Допускается:

- > все обозначения пропорционально уменьшать, сохраняя четкость схемы;
- > увеличивать условные графические обозначения при вписывании в них поясняющих знаков;
- > уменьшать условные графические обозначения, если они используются как составные части обозначений других элементов;
- > поворачивать условное графическое обозначение на угол, кратный 45 и 90° по сравнению с изображением, приведенным в стандарте, или изображать зеркально повернутым.

Расстояние между отдельными графическими обозначениями не должно быть менее 2 мм. На схемах должно быть наименьшее количество изломов и пересечений линий связи. В общем случае толщина линий связи и графических обозначений одинакова (рекомендуемая толщина 0,3; 0,4 мм). Утолщенными линиями изображают линии групповой связи, т. е. линии, условно изображающие группу линий электрической связи проводов, кабелей, шин, следующих на схеме в одном направлении. Утолщенные линии связи и графических обозначений выполняют вдвое толще принятой толщины линии связи. Если линии связи затрудняют чтение схемы, их можно оборвать, закончив стрелкой, и указать обозначение или наименование, присвоенное этой линии (например, номер провода, наименование сигнала, условное обозначение буквой, цифрой, рис. 2.2).

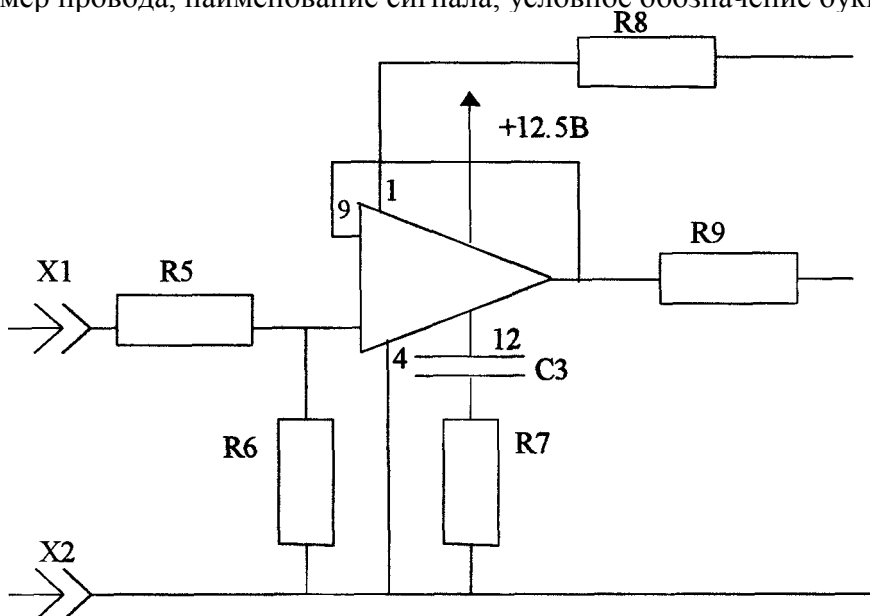


Рис.2.2. Фрагмент электрической схемы (обрыв линии связи)

Элементы типа реле, трансформаторов и других изделий, соединяющих большое количество контактов, могут быть изображены на схеме двумя способами: совмещенным и разнесенным. При совмещенном способе (рис.2.3) составные части элементов или устройств изображаются на схеме в непосредственной близости друг к другу; при разнесенном реле (K5 ... K7 на рис.2. 4) — в разных местах, для большей наглядности отдельных цепей.



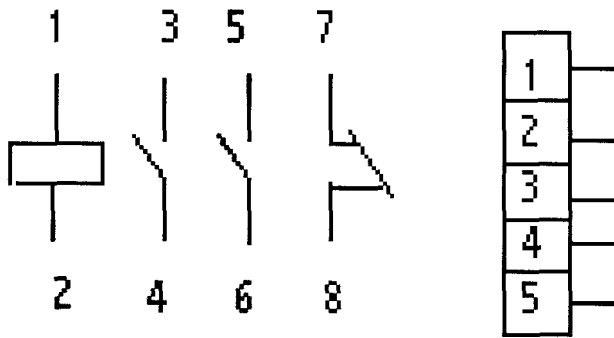


Рис.2.3. Изображение реле совмещенным способом

Схемы рекомендуется выполнять строчным способом: условные графические обозначения устройств и их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом, а отдельные цепи — рядом, в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. При этом строки нумеруют арабскими цифрами (см. рис. 2.4).

На рис. 2.5 представлены два способа изображения схем: однолинейное и многолинейное. При многолинейном изображении (см. рис. 2.5, а) каждую цепь показывают отдельной линией, а элементы — отдельными условными графическими обозначениями. При однолинейном изображении цепи, выполняющие идентичные функции, изображают одной линией, а одинаковые элементы этих цепей — одним условным графическим изображением.

Допускается сливать в одну линию несколько электрически несвязанных линий связи. В этом случае, как показано на рис. 2.6, каждую линию помечают в месте слияния, а при необходимости — на обоих концах условными обозначениями (цифрами, буквами или сочетаниями букв и цифр). Для пояснения в условиях эксплуатации около условных графических обозначений элементов помещают соответствующие записи, знаки или графические обозначения (например, у переключателей, гнезд и т. д.).

Рис.2.4. Изображение р

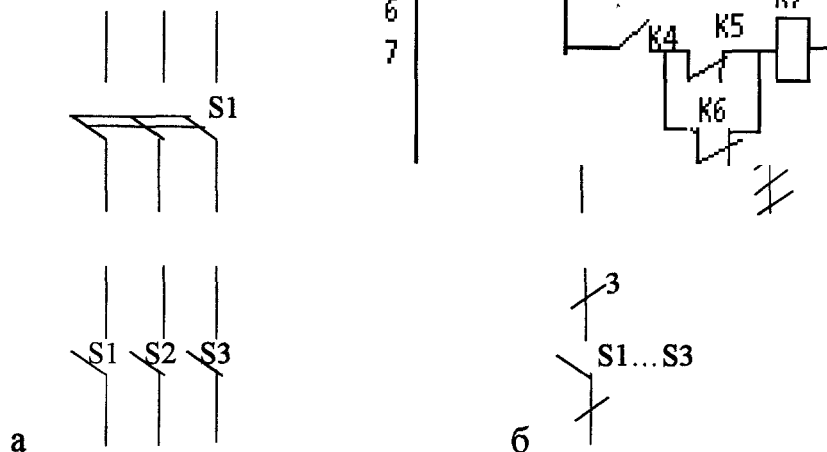


Рис. 2.5. Изображение схемы: а — многолинейное; б — однолинейное

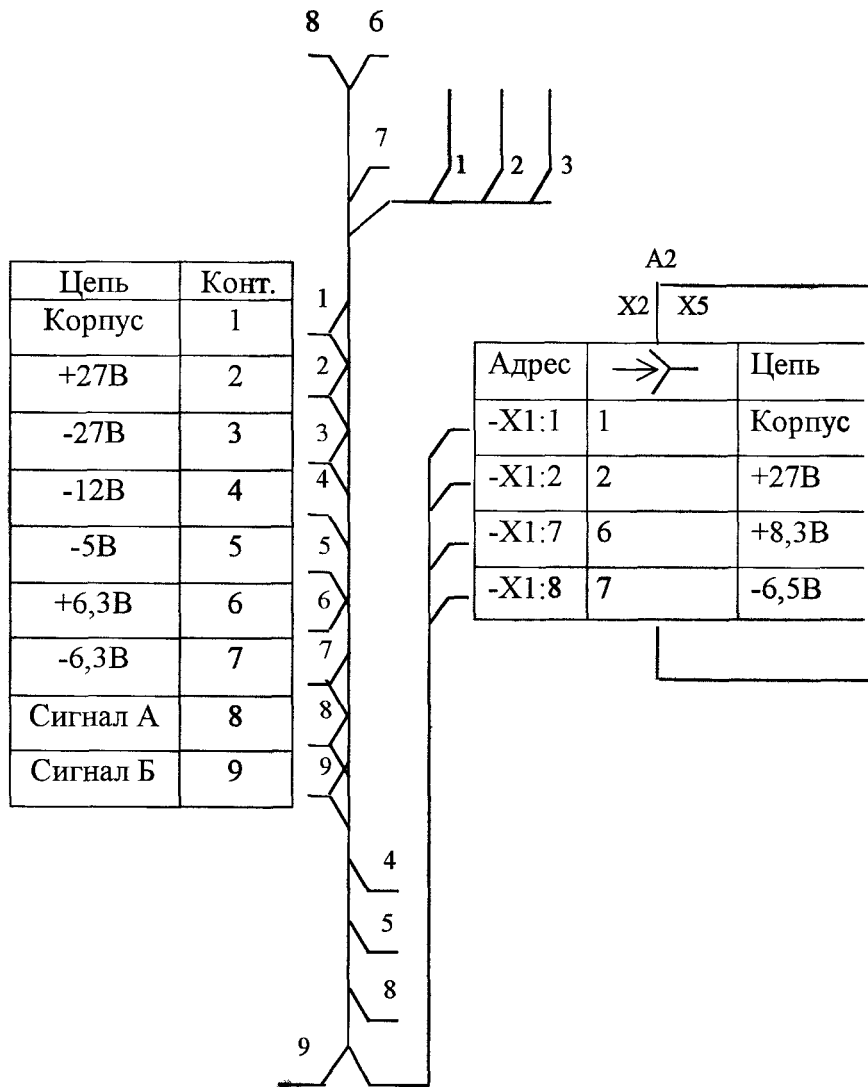


Рис 2-6.Изображение линий связи

Если эти надписи и обозначения наносятся на изделие, то их заключают в кавычки.

На схеме указывают характеристики входных цепей изделий (частоту, напряжение, силу тока, сопротивление и т. п.), а также параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах и т.п. (рис. 2.7).

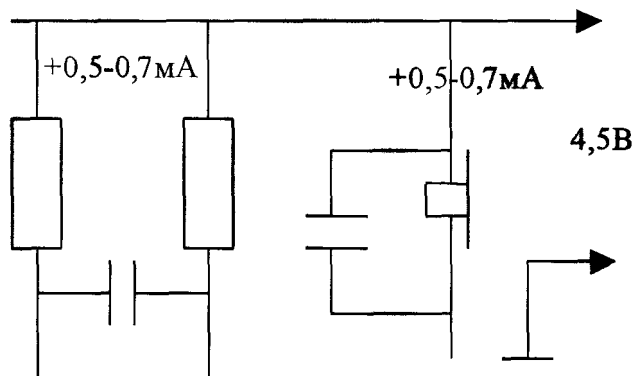


Рис. 2.7. Нанесение характеристик входных цепей и параметров в контрольных точках

Допускается указывать адреса внешних соединений входных и выходных цепей изделия, если они известны. Например, адрес «А-Х2:4» означает, что выходной контакт изделия должен быть соединен с четвертым контактом второго соединителя устройства А.

Все внешние выводы схемы, например входные, выходные, контрольные, выводы питания и заземления рекомендуется записывать в таблицы по форме, приведенной на рис. 2.8. В них указывают характеристики цепей, а также адреса их внешних подключений. Таблицы помещают вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов—соединителей, плат и т. д. Таблицам присваивают позиционные обозначения элементов, которые они заменяют. Из таблицы могут быть изъяты графы, если отсутствуют сведения, и введены дополнительные графы.

Конт.	Цепь	Адрес
1	$U_{\text{вх}}=0,18; f=10 \dots 20 \text{ кГц}$	=А1-Х1:1
2	$U_{\text{вых}}=15\text{В}; R_{\text{н}}=500 \text{ Ом}$	=А1-Х1:3
3	$\Delta f=0.1 \dots 10 \text{ кГц}; R_{\text{н}}=800 \text{ кОм}$	=А1-Х1:5

Рис.2.8.Форма таблицы характеристик цепей

Если на схеме несколько таких таблиц, то шапку таблицы можно приводить только один раз. Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы.

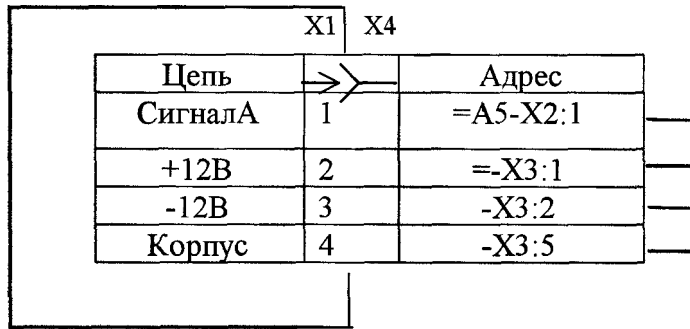
Если устройства (рис. 2.9), имеющие самостоятельную принципиальную схему, изображены в виде прямоугольника, то вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов в прямоугольнике (рис. 2.9, а) помещают таблицы с характеристиками входных и выходных цепей, а вне прямоугольника (рис. 2.9, б) таблицы с указанием адресов внешних присоединений.

А1

Конт.	Цепь
1	Корпус
2	+27В
3	-27В
4	СигналА

Цепь	Конт.
Корпус	1
+12В	2
-12В	3
Сигнал Б	4
Сигнал В	5

а



б

Рис. 2.9. Размещение таблицы характеристик цепей при изображении устройств в виле прямоугольника

Сведения о соединении контактов многократных соединителей записывают двумя способами:

1. В таблицах (рис. 2.10) около изображения соединителей, на поле схемы или на последующих листах помещают:

в графе «Конт.» — номер контактов соединения (записывают по возрастанию номеров);

в графе «Адрес» — номер цепи и (или) позиционное обозначение элементов, соединенных с контактом;

в графе «Цепь» — характеристику цепи;

в графе «Адрес внешний» — адрес внешнего соединения.

2. Соединения с контактами соединителя изображают разнесенным способом (рис.2.11). Точки, соединенные штриховой линией с соединителем, обозначают соединения с соответствующими контактами этого соединителя.

Конт.	Адрес	Цепь	Адрес внешний
1	П1:5	+27В	=А1-Х1:4
2	П1:7	-27В	=А1-Х1:5

Рис.2. Ю.Таблица характеристик цепей и адресов внешних соединений

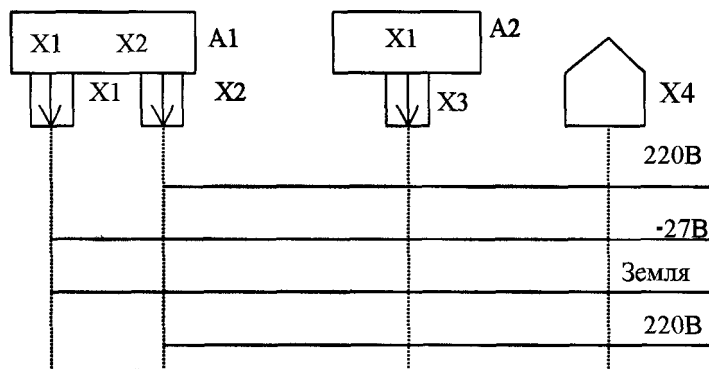


Рис.2.11. Нанесение сведений о соединении цепей при изображении их разнесенным способом

На поле схемы допускается помещать:

- > указания о марках, сечениях и расцветках проводов и кабелей, соединяющих элементы, устройства, функциональные группы;
- указания о специфических требованиях к электрическому монтажу данного изделия.

### Позиционные обозначения

Всем элементам, устройствам и функциональным группам изделия, изображенным на схеме, присваиваются позиционные обозначения, содержащие информацию о виде элемента (устройства, функциональной группы) и его порядковом номере в пределах данного вида. Позиционное обозначение состоит в общем случае из трех частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию. Его записывают без разделительных знаков и пробелов, одним размером шрифта. Вид и номер являются обязательной частью условного буквенно-цифрового обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам объекта. Указание функции элемента не служит для идентификации элемента и не является обязательным.

В первой части указывают вид элемента (устройства, функциональной группы) одной или несколькими буквами согласно ГОСТ 2.710 — 81, например, *R* — резистор, *C* — конденсатор; во второй части порядковый номер элемента (устройства, функциональной группы) в пределах данного вида, например, *R1*, *R2*, ..., *R15*; *C1*, *C2*, ..., *C10*; в третьей части — соответствующее функциональное назначение, например, *C5 F* — конденсатор, *C5*, используемый как защитный. Порядковые номера присваивают, начиная с единицы, в пределах группы с одинаковыми позиционными обозначениями в соответствии с последовательностью расположения элементов на схеме, считая, как правило, сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними. Позиционные обозначения одинаковых элементов при однолинейном изображении схемы указывают согласно рис. 2.4. У одного условного графического изображения, заменяющего несколько графических обозначений одинаковых элементов, указывают позиционные обозначения всех элементов. При отсутствии элементов в некоторых цепях, изображенных однолинейно, справа от позиционного обозначения или под ним указывают в квадратных скобках обозначения цепей, в которых эти элементы имеются.

На рис. 2.12 представлено параллельное (рис. 2.12, а) и последовательное (рис. 2.12, б) соединения одинаковых

элементов, устройства и функциональных групп. При параллельном соединении допускается вместо изображения всех ветвей параллельного соединения изображать только одну ветвь, указывая количество ветвей при помощи обозначения отвлечения.

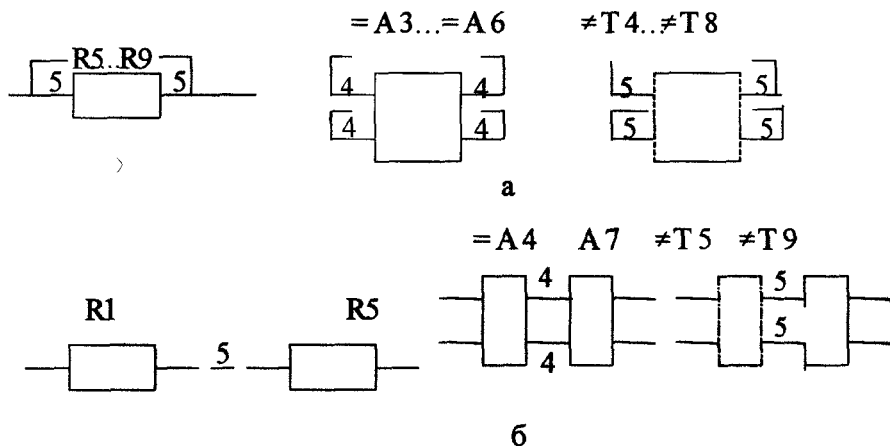


Рис. 2.12. Изображение нескольких одинаковых элементов, соединенных:  
 а — параллельно; б — последовательно

Позиционные обозначения элементов, устройств проставляют с учетом всех ветвей, входящих в параллельное соединение.

При последовательном соединении вместо изображения всех последовательно соединенных элементов, устройств, функциональных групп допускается изображать только первый и последний элементы, показывая электрические связи между ними штриховыми линиями. Над штриховой линией указывают общее количество указанных элементов. В позиционных обозначениях при этом должны быть учтены элементы, устройства, не изображенные на схеме.

Элементам, входящим в функциональные группы, присваивают позиционные обозначения по общим правилам. При наличии в изделии нескольких одинаковых функциональных групп позиционные обозначения элементов, присвоенные в одной из этих групп, повторяют в последующих. Элементам, входящим в устройства, присваивают позиционные обозначения в пределах каждого устройства. Позиционные обозначения элементов, параметры которых подбирают при регулировании, отмечают на схеме и в перечне звездочкой (например  $R5^*$ ), на поле схемы помещают запись: «Подбирают при регулировании». В перечне указывают наименование и параметр элемента, близкого к расчетному.

#### Перечень элементов

Все сведения об элементах, входящих в состав изделия и изображенных на схеме, записывают в перечень элементов, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. В первом случае перечень оформляют в виде таблицы по форме (рис.2. 13, а), как правило, над основной надписью, на расстоянии не менее 12 мм от нее. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя шапку таблицы.

а

Поз. обозначен.	Наименование	Кол.	Примеч.

б

Зона	Поз. обозначен.	Наименование	Кол.	Примеч.

Рис 2.13. Формы таблиц перечня элементов

Во втором случае перечень элементов выполняют на формате с присвоением шифра,

состоящего из буквы П (перечень) и шифра схемы, к которой выпускается перечень, например, ПЭЗ — перечень элементов к принципиальной электрической схеме.

В графах перечня указывают следующие данные: в графе «Поз. обозначение» — позиционное обозначение элемента устройства или обозначение функциональной группы; в графе «Наименование» — наименование элемента (устройства) в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, а также обозначение этого документа (основной конструкторский документ ГОСТ, ТУ);

> в графе «Примечание» — указание технических данных элемента, не содержащихся в его наименовании (при необходимости);

> в графе «Зона» (в случае разбивки поля схемы на зоны, рис.2.13,6) — обозначение зоны; при строчном способе выполнения схемы — номер строки, в которой расположен данный элемент (устройство).

Элементы записывают в перечень группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например  $R3, R4, C8, C12$ , а в графу «Кол.» — общее количество таких элементов.

На рис.2.14 показаны примеры записи элементов, у которых одинаковые наименования (см. рис.2.14, а) записывают в виде общего заголовка один раз на каждом листе перечня и подчеркивают обозначения документов, на основании которых эти элементы применены (рис. 2.14, б); устройства или функциональные группы (рис. 2.14, в); записывают элементы, входящие в каждое устройство (группу), начиная с наименования устройства (группы), которое подчеркивают; в графе «Кол.» указывают количество одинаковых устройств (групп), изображенных на схеме, в одной строке с заголовком; количество элементов, входящих в одно устройство (группу). Элементы устройств (групп) записывают после изделий, в них не входящих.

### *Задание*

Студенту выдается электрическая принципиальная схема функционального узла, изготовленная с применением комплектующих изделий различных типов. Необходимо зарисовать электрическую принципиальную схему функционального узла РЭА, определить его назначение и подобрать (изменяя при необходимости) типы, комплектующие ЭРЭ в соответствии с рекомендациями.

По справочникам, стандартам, нормам студент выбирает нужный радиоэлемент, выписывает габаритные и установочные размеры, делает , полную запись радиоэлемента: наименование — тип — напряжения

Поз. обозначен.	Наименование	Кол.	Примеч.
1	Резисторы МЛТ-0,5-150 кОм±5%ГОСТ 7113— 77	1	
	ПЭВ-10-3.3 кОм±3%ГОСТ 6513 — 65		

а

Поз. обозначен.	Наименование	Кол.	Примеч.
	Резисторы ОМЛТГОСТ 7113 — 77		
	Резисторы ПЭВ ГОСТ 6513 — 65		
	Резисторы СП ГОСТ 5574 — 73		
1	ОМЛТ-0,5-200 Ом ±10%	1	
2	ПЭВ-10-3 кОм ± 5%	1	
3	1СП-1-а-510 Ом ± 10% ОС-3-12	1	
4,5	ОМЛТ-0,5-910 Ом ± 10%	2	

б

Поз. ^Обозначен.	Наименование	Кол.	Примеч.
R21.R22	МЛТ-0,5-51 кОм±5%	2	
R23	МЛТ-0,5-75 кОм±10%	1	
Д1...Д15	Твuzzev КвА U.XXX.XXX. 005	15	
R1'	Резистор МЛТ-0,5-510 Ом±5%	1	(100 910)
R2	МЛТ-0,5-750 Ом±5%	1	
R3.R4	МЛТ-0,5-1 кОм±5%	2	
R5	МЛТ-0,5-4.3 кОм±5%	1	

В

Рис. 2.14. Оформление перечня элементов

(мощность рассеяния) — номинал — отклонение от номинала— ТУ (в соответствии с приведенными в справочниках примерами записи на каждый радиоэлемент).

Затем выполняется с соблюдением требований ЕСКД схема электрическая принципиальная ФУ и перечень элементов.

Содержание отчета

1. Представить схему электрическую принципиальную и перечень элементов ФУ или блока.

2. Представить краткое описание схемы устройства, объясняющее принцип действия, и техническое задание на разработку конструкции, составленное на основании заданных преподавателем исходных данных: условий эксплуатации, объекта установки и т. д.

2.2.7.6. Оформление схем электрических РЭА Общие правила выполнения схем



Схема - это графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Схемы входят в комплект конструкторской документации и содержат вместе с другими документами необходимые данные для проектирования, изготовления, сборки, регулировки, эксплуатации изделий.

Схемы предназначаются:

- > на этапе проектирования - для выявления структуры будущего изделия при дальнейшей конструкторской проработки;

- ^ на этапе производства - для ознакомления с конструкцией изделия, разработки технологических процессов изготовления и контроля деталей;

- > на этапе эксплуатации - для выявления неисправностей и использования при техническом обслуживании.

Правила выполнения и оформления схем регламентируют стандарты седьмой классификационной группы ЕСКД:

ГОСТ 2.701 — 84 «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»;

ГОСТ 2.702 — 75 «ЕСКД. Правила выполнения электрических схем»;

ГОСТ 2.709 — 89 «ЕСКД. Правило выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники»;

ГОСТ 2.710 — 81 «ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

Общие требования к выполнению схем:

- > схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия;

- > необходимое количество типов схем, разрабатываемых на проектируемое изделие, определяется разработчиком в зависимости от особенности изделия;

- > на схеме, как правило, используют стандартные графические условные обозначения; если необходимо использовать нестандартные обозначения некоторых элементов, то на схемах делают соответствующие пояснения;

- > следует добиваться наименьшего числа изломов и пересечений линий связи, сохраняя между параллельными линиями расстояние не менее 3 мм;

- > на схемах допускается помещать различные технические данные, характеризующие схему в целом и отдельные ее элементы. Эти сведения помещают либо около графических обозначений, либо на свободном поле схемы, как правило, над основной надписью.

### *Структурная схема*

Структурная схема отображает принцип работы изделия в самом общем виде. На схеме изображают все основные функциональные части изделия, а также основные взаимосвязи между ними. Построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей изделия. Направления хода процессов, происходящих в изделии, обозначают стрелками на линиях взаимосвязи.

Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольников или в виде условных графических обозначений. При обозначении функциональных частей в виде прямоугольников их наименования, типы и обозначения вписывают внутрь прямоугольников.

На схеме допускается указывать технические характеристики функциональных частей, поясняющие надписи и диаграммы, определяющие последовательность происходящих процессов во времени, а также параметры в характерных точках.

### *Принципиальная схема*

Принципиальная схема является наиболее полной электрической схемой изделия, на которой изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для

осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все связи между ними, а также элементы подключения (разъемы, зажимы и др.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи. На схеме могут быть изображены соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Электрические элементы на схеме изображают условными графическими обозначениями в соответствии со стандартами ЕСКД:

ГОСТ 2.721 — 74 «ЕСКД. Обозначения общего применения»;

ГОСТ 2.722 — 68 «ЕСКД. Электрические машины»;

ГОСТ 2.723 — 68 «ЕСКД. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы, магнитные усилители»;

ГОСТ 2.755 — 87 «ЕСКД. Устройства коммутационные и контактные соединения»;

ГОСТ 2.726 — 68 «Токоъемники»;

ГОСТ 2.727 — 68 «ЕСКД. Разрядники и предохранители»;

ГОСТ 2.728 — 74 «ЕСКД. Резисторы. Конденсаторы»;

ГОСТ 2.729 — 68 «ЕСКД. Электроизмерительные приборы»;

ГОСТ 2.730 — 73 «ЕСКД. Полупроводниковые приборы»;

ГОСТ 2.731 — 81 «ЕСКД. Электровакуумные приборы»;

ГОСТ 2.732 — 68 «ЕСКД. Источники света»;

ГОСТ 2.734 — 68 «ЕСКД. Линии сверхвысокой частоты и их элементы»;

ГОСТ 2.735 — 68 «ЕСКД. Антенны и радиостанции»;

ГОСТ 2.736 — 68 «ЕСКД. Пьезоэлектрические и магнитоэлектрические элементы линии задержки»;

ГОСТ 2.741 — 68 «ЕСКД. Акустические приборы»;

ГОСТ 2.743 — 91 «ЕСКД. Элементы цифровой техники»;

ГОСТ 2.764 — 86 «ЕСКД. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации»;

ГОСТ 2.745 — 68 «ЕСКД. Электронагреватели. Устройства и установки электротермические»;

ГОСТ 2.746 — 68 «ЕСКД. Квантовые генераторы и усилители»;

ГОСТ 2.752 — 71 «ЕСКД. Устройства телемеханики»;

ГОСТ 2.758 — 81 «ЕСКД. Сигнальная техника»;

ГОСТ 2.759 — 82 «ЕСКД. Элементы аналоговой техники»;

ГОСТ 2.765 — 87 «ЕСКД. Запоминающие устройства».

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном состоянии. Условные графические обозначения элементов и устройств выполняют совмещенным или разнесенным способом.

Всем изображенным на схеме элементам и устройствам присваиваются условные буквенно-цифровые позиционные обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710 — 81.

Данные об элементах и устройствах, изображенных на схеме изделия, записывают в перечень элементов.

Перечень помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа на листе формата А4 с основной надписью для текстовых документов по форме 2 или 2а ГОСТ 2.104 — 68. Перечень элементов оформляют в виде таблицы и заполняют сверху вниз. При размещении перечня элементов на первом листе схемы его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее.

Перечень элементов записывают в спецификацию после схемы, к которой он выпущен.

Элементы записывают в перечень по группам в алфавитном порядке. *ПРИЛОЖЕНИЕ Пример анализа схемы электрической принципиальной*

Рассмотрим схему электрическую принципиальную и элементную базу, РЭА, выполненную на интегральных микросхемах серии К155, К133 и КР580. В частности, проанализируем схему модуля оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) емкостью 64 одноразрядных слова, которое имеет ИМС 155РУ1 и К155ИД1 (рис. П К).

Из справочной литературы имеем следующие данные об условиях эксплуатации ИМС

серии К155: интервал рабочих температур от +10°C до — 70°C, многократное циклическое изменение температуры от —10°C до —70°C, относительная влажность при температуре 20°C, атмосферное давление  $6,7 \times 10^2 \dots 3 \times 10^5$  Па, вибрация, диапазон частот вибрации 5... 2000 Гц, многократные удары с ускорением 35g, ускорение 10g, с ускорением 50g  
 — линейная нагрузка, одиночные удары с ускорением 150g, напряжения питания  $U_{Hn} = 5 \text{ В} \pm 5\%$ .

Для обеспечения максимального быстродействия и помехоустойчивости используемого выхода ИМС должны находиться под постоянным потенциалом. Это позволяет исключить перезарядку емкости разомкнутого эмиттера входного транзистора относительно выводов схемы, которая увеличивает время задержки сигнала.

Конструктивно и электрическими связями следует обеспечить сигналы, поступающие на входы микросхем в соответствии с требованиями технических условий, так как в противном случае не может быть обеспечена безотказная работа элементов. Это в особенности относится к случаю, когда ИМС управляются от внешних источников. Критичными в данном случае являются длительность фронта и среза входных сигналов (не более 150 нс).

Для обеспечения работоспособности рассматриваемого ОЗУ, которое согласуется с другими устройствами, выполненными на других сериях ИМС К133 и КР580, необходимо, чтобы значения суммарной емкости входов ИМС (нагрузок) с учетом

$$C_{нг} \geq \sum_{i=1}^{k_{раз}} C_{вх\ и\ i} + \sum_{i=1}^{k_{раз}} C_{\mu_i},$$

монтажа удовлетворяли соотношению  $C_{нг}$  — емкость нагрузки микросхемы генератора, при которой гарантируются временные параметры (15 пФ);  $C_{вх\ и}$  — максимальная емкость входа микросхемы нагрузки (примерно 3 пФ);  $C_{\mu_i}$  — емкость монтажа одного входа микросхемы нагрузки относительно выхода микросхемы генератора;  $k_{раз}$  — количество разветвлений (нагрузок).

При конструировании изделия РЭА на ИМС серии К155 разводка питающего напряжения узлов и блоков («Земля» и «Питание») должна производиться проводниками с возможно более низким сопротивлением.

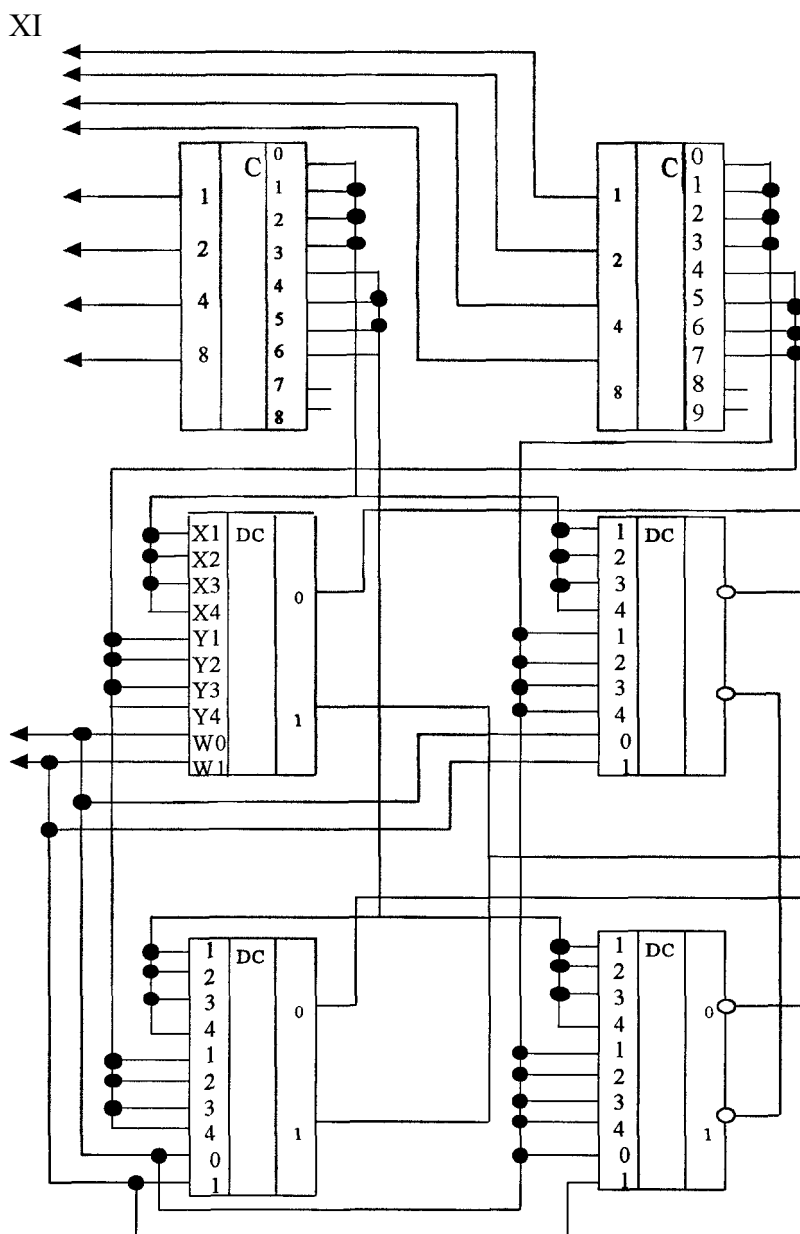


Рис. П1. Модуль оперативного запоминающего устройства

При использовании многослойных печатных плат рекомендуется разводку шин «Питание» производить в одном слое, а шин «Земля» — в другом, соседнем, шины располагать одну над другой. При наличии свободной площади в слое рекомендуется использовать ее для увеличения поверхности шины «Земля»

Низкочастотные помехи, проникающие в систему по шинам питания, должны блокироваться с помощью конденсатора емкостью 0,1 мкФ на ИМС, включенного между выводами «Питание» и «Земля» непосредственно с места начала проводника печатной платы.

Развязывающие емкости на высокой частоте должны быть равномерно распределены по всей площади печатной платы относительно ИМС из расчета один конденсатор на группу 10 микросхем емкостью не менее 0,002 мкФ на микросхему. Конденсатор развязки, установленный в непосредственной близости от микросхемы, образует цепь низкого сопротивления высоким частотам.

Конденсаторы устанавливаются на той стороне платы, на которой располагаются ИМС, в непосредственной близости от них. Для блокировки высокочастотных пульсаций следует

использовать безындукционные конденсаторы.

Информационные линии связи между платами рекомендуется осуществлять с помощью монтажной панели, которая конструктивно может быть выполнена в виде печатной платы или панели, имеющей экранирующее покрытие со стороны монтажа. Экран должен быть соединен с шиной «Земля» печатных плат. Если в устройстве РЭА, где располагается разрабатываемое устройство на микросхемах, длина информационных линии связи превышает 20 см, то рекомендуется выполнять их с помощью объемного монтажа. Линии связи длиной до 20 см — для асинхронных устройств и до 30 см — для синхронных устройств выполняются одиночными проводниками. К выходу одного передающего элемента допускается подключать до пяти радиальных линий общей длиной не более 50 см.

Линии связи длиной 0,2..1 м в пределах панели выполняют несогласованными витыми парами. К выходу одного передающего элемента допускается подключать не более трех пар с суммарной длиной не более 2 м. Обратные провода витых пар должны «заземляться» на передающем и приемных концах. Длина отдельной части витой пары должна быть не более 3 см. Допускается к одному контакту электрического соединителя подключать не более трех обратных проводов витых пар. От несогласованной витой пары допускается делать отводы с одиночным проводом в пределах погрузочной способности передающих ИМС, при этом суммарная длина отводов не должна превышать 0,2 м.

В линии связи, выполненной витой парой, допускается проводить отдельные участки одиночным проводом, при этом суммарная длина

одиночных проводов в длинной линии связи не должна превышать 0,2 м, а длина всей линии связи — не более 1 м.

При разводке линий связи необходимо располагать их таким способом, который позволял бы упростить линию связи и обеспечить минимальную ее длину.

Линии связи от 1 до 3 м, не выходящие за пределы изделия, необходимо выполнять согласованными витыми парами. Согласованные линии связи длиной более 3-х метров, а также линии связи, выходящие за пределы устройства, необходимо выполнять с помощью коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 100 Ом. Согласование линий связи осуществляется с помощью резистора 82 Ом с допустимым отклонением сопротивления на 5%. Резистор должен устанавливаться непосредственно у выхода передающей ИМС.

Допускается осуществлять передачу информационных сигналов в пределах изделия РЭЛ с помощью экранированного провода с обязательной посылкой стробирующего сигнала по коаксиальному кабелю.

Линии связи для передачи сигналов синхронизации при печатном <sup>Г</sup> монтаже должны быть удалены от информационных линий и от линии синхронизации другой фазы на расстояние не менее 2,5 мм или экранированы землей в одной точке. Ширина печатного экранирующего проводника должна быть в 2—3 раза больше ширины проводника цепей синхронизации.

Разводку линий связи для сигналов синхронизации в пределах панели можно выполнить с помощью витой пары длиной до 35 см или одиночным проводом до 10 см. От витой пары допускается делать отводы одиночным проводом длиной 10 см, причем суммарная длина одиночных проводников не должна превышать 20 см.

Линии связи сигналов синхронизации в пределах устройства с длиной более 35 см необходимо выполнять с помощью согласованного или несогласованного коаксиального кабеля при длине не более 50 см.

Линии связи от выхода ИМС до элементов индикации рекомендуется выполнять одиночными проводниками, которые можно укладывать в жгут. Длина линии связи при этом определяется из условий обеспечения максимально допустимого напряжения, приложенного к выходу ИМС (5,25 В для К155ЛА8, 7 В для К155ЛА7, 60 В для К155ИД1). Коммутационные линии связи (линии между переключателями, тумблерами, контактами, реле и микросхемой) рекомендуется выполнять экранированным проводом.

Допускается применение одиночных проводников длиной до 0,3 м и витых пар до 3 м. Укладка в один жгут линии связи информационных, коммутационных индикаций не допускается. Одиночные проводники нельзя укладывать в жгуты как отдельно, так и с

витыми парами. Несогласованные и согласованные витые пары допускается укладывать в жгуты или в группу проводов без связи, а также в шлейфы.

Таблица П1 Классификация ИЭТ по условиям применения

Группа исполнения изделий по стойкости к механич. факторам	Синусоидальная вибрация			Механический удар многократного действия		Механический удар одиночного действия		Характеристика наиболее часто встречающихся условий применения
	Диапазон частот, Гц	Амплитуда ускорения, $m \times c^{-2}$ (g)	Степень жесткости по ГОСТ 20.57.406 — 81	Пиковое ударное ускорение, $m \times c^{-2}$ (g)	Степень жесткости по ГОСТ 20.57.406 — 81	Пиковое ударное ускорение, $m \times c^{-2}$ (g)	Степень жесткости по ГОСТ 20.57.406 — 81	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
M1	1 — 35*	5 (0,5)	1	150 (15)	1	—	—	В стационарной аппаратуре и приборах, устанавливаемых на неподвижных объектах, а также в аппаратуре и приборах, не имеющих приспособлений для переноски и требующих применения специальных мер защиты при перевозке
M2	1 — 55	10 (1)	2					В аппаратуре и приборах, не работающих на ходу и предназначенных для кратковременной переноски людьми и перевозки
M3	1 — 55	20 (2)	3					В аппаратуре и приборах, работающих на ходу, устанавливаемых на промышленных передвижных машинах и на неподвижном технологическом оборудовании

1	2	3	4	5	6	7	8	9
М4	1— 80	50 (5)	6	150 (15)	1			В носимой аппаратуре и приборах, работающих на ходу, в аппаратуре и приборах, устанавливаемых на сухопутном и водном транспорте (грузовые и пассажирские суда)
М5	1— 200	50 (5)		400 (40)	2			В аппаратуре, работающей на ходу, устанавливаемой на тракторах и гусеничных машинах и водном транспорте (быстроходные катера, суда на подводных крыльях и т.п.), а также на технологическом оборудовании и сухопутном транспорте, если частота вибрации превышает 80 Гц
М6	1— 500	100 (10)	10			1500 (150)	3	В аппаратуре, установленной на объектах, имеющих мощные источники вибрации, а также для общего применения в промышленности при условии, что частота вибрации превышает 200Гц

\*Требования предъявляют только к изделиям, предназначенным для аппаратуры, расположенной вблизи источников вибрации.  
Примечание, длительность действия ударного ускорения механического удара всех групп исполнения не ограничена.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молотов П.Е., Зеленский А.В, Чекмарев А.Н. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. —Куйбышев: КуАИ, 1985.
2. Гель П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. — Д: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
3. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования /Под ред. Р.Г. Варламова. —М.: Сов. радио, 1980. -480 с.
4. Справочник по интегральным схемам /Под ред. Б.В. Трабарина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1985. - 816 с.
5. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочное пособие. - М.: Радио и связь, 1984. - 256 с.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ПЕРВОГО УРОВНЯ

### *3.1. Исходные теоретические и практические данные*

Исходными данными для конструирования являются техническое задание (ТЗ), схема электрическая принципиальная (ЭЗ) с перечнем всех электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и конструкторские аналоги, являющиеся изделиями такого же функционального назначения, параметрами, соответствующими лучшим образцам отечественного и зарубежного Производства.

В качестве ограничений выступают технические возможности производства, нормативные документы, перечень запрещенных к использованию материалов.

#### *3.1.1 Задачи конструкторского проектирования печатных плат*

Процесс конструирования печатных плат (ПП) основан на двух различных подходах; первый предусматривает разработку конструкторских требований высшего порядка к уровням низшего порядка; второй - разработку «снизу вверх». В первом случае исходные данные задаются частным ТЗ, вытекающим из общего ТЗ. Во втором случае исходные данные могут носить общий характер, а конкретные пункты ТЗ: показатели качества, ограничения и условия - определяет сам разработчик ПП.

Задача разработки состоит в создании конструкции ПП, наилучшим образом отвечающей поставленным требованиям при выбранных показателях качества и принятых ограничениях и условиях.

Разработка конструкции любого радиоэлектронного устройства с применением 1111 включает следующие этапы:

- > изучение технического задания на изделие (печатный узел, блок), в состав которого входит конструируемая плата;
- > анализ и компоновка ПП;
- > компоновка навесных элементов и проводящего рисунка ПП;
- > конструктивно технологический расчет ПП;
- > разработка конструкторской документации (деталировка, сборочный чертеж, слои ПП и др.).

Только комплексное решение этих этапов обеспечивает оптимальный вариант конструкции ПП. Базовые конструкции позволяют получить существенный экономический эффект за счет упрощения процесса конструирования, уменьшения номенклатуры оснастки и инструмента, уменьшения объемов конструкторской документации, упрощения аппаратуры контроля и диагностики.

При создании базовых конструкций ПП в качестве объектов унификации используют: габаритные размеры, тип и размещение отверстий; размеры и форму элементов проводящего рисунка; конструктивные покрытия.

Методические указания по выполнению анализа ТЗ и ЭЗ даны в лабораторной работе «Конструкторский анализ технического задания и схемы электрической принципиальной».

#### *3.1.2. Анализ и выбор типа печатной платы*

При разбиении устройства на составные части основным критерием является принцип функциональной законченности. Это обеспечивает минимальное количество внешних соединений, уменьшает интенсивность отказов за счет уменьшения количества межъячеечных контактов, улучшает массогабаритные и технические показатели. На одной плате может располагаться одна или несколько функционально законченных схем. Чем больше интегральных микросхем на ПП, тем меньше внешних соединений.

По конструкции ПП с жестким или гибким основанием делится на типы: односторонние, двусторонние и многослойные. Разновидности типов представлены на рис.3.1.



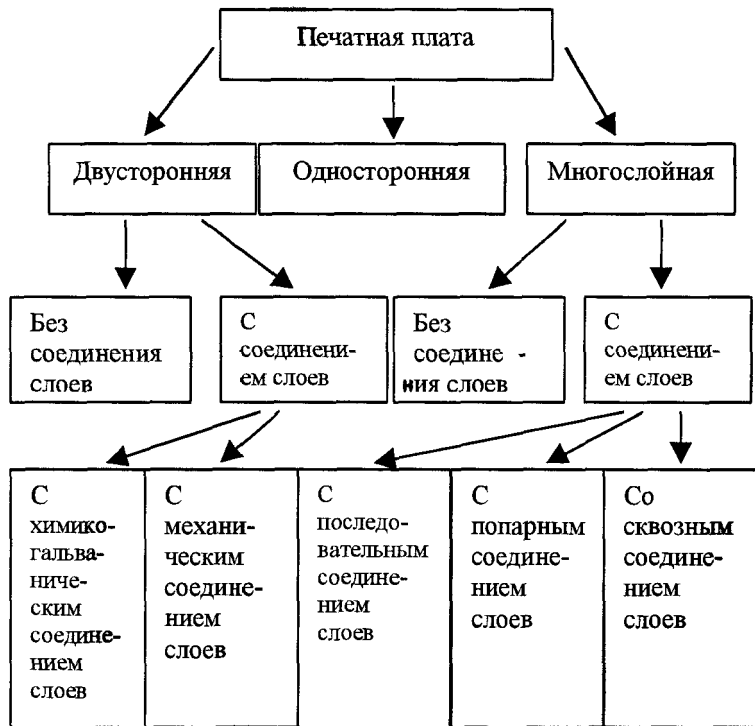


Рис. 3.1. Разновидности типов ПП

При выборе типа ПП для разрабатываемой конструкции изделия следует учитывать технико-экономические показатели. Ориентировочное изменение трудоемкости изготовления ПП в крупносерийном производстве в зависимости от ее типа и класса точности приведено на рис.3.2 и рис.3.3.



Рис. 3.2. Зависимости трудоемкости изготовления ПП от ее типа

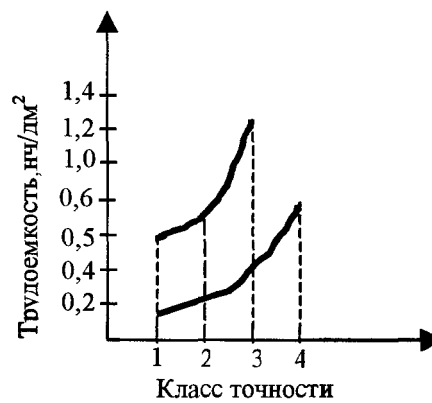


Рис. 3.3. Зависимости трудоемкости изготовления ПП от класса точности

Односторонние печатные платы (ОПП) характеризуются: возможностью обеспечить повышенные требования к точности выполнения проводящего рисунка; установкой навесных элементов на поверхность платы со стороны, противоположной стороне пайки, без дополнительной изоляции; возможностью использования перемычек из проводящего материала, низкой стоимости конструкции. Поперечный размер конструкции приведен на рис.3.4.

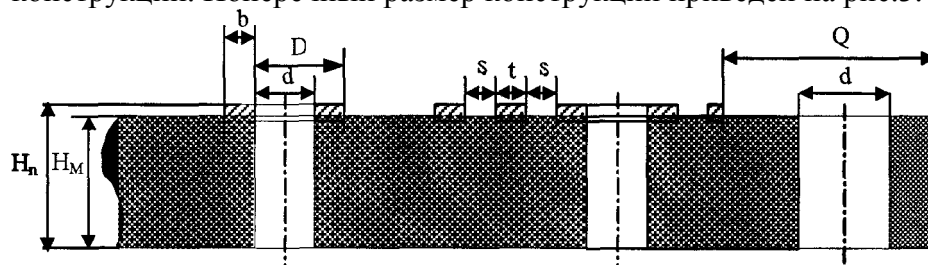


Рис.3.4. Поперечный размер конструкции

Двусторонние печатные платы (ДПП) без металлизированных контактных и переходных отверстий характеризуются: возможностью обеспечить высокие требования к точности выполнения рисунка; высокими коммутационными свойствами; использованием объемных металлических элементов проводящего рисунка расположенных на противоположных сторонах платы; низкой стоимостью конструкции. Поперечный разрез конструкции приведен на рис.3.5.

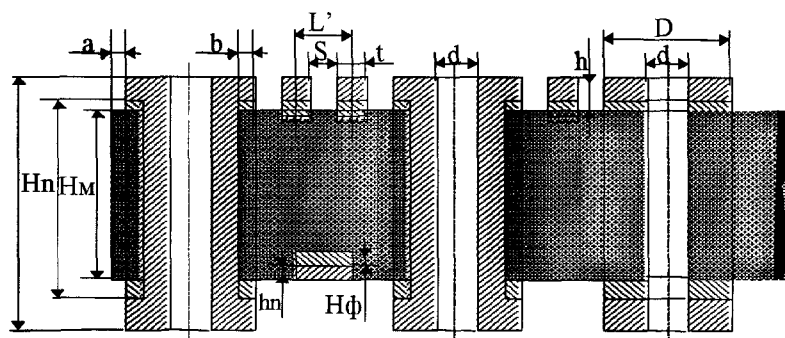


Рис.3.5. Поперечный разрез конструкции

Многослойные печатные платы (МП 111) с металлизацией сквозных отверстий характеризуются: высокими коммутационными свойствами;

наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью сквозных металлических отверстий, соединяющих только внутренние проводящие слои попарно, обязательным наличием монтажной площадки на любом проводящем слое, имеющем электрическое соединение с переходными отверстиями; предпочтительным выполнением проводящего рисунка наружных слоев по первому или второму классу точности или наличием на наружном слое только контактных площадок сквозных металлизированных отверстий; предпочтительным применением элементной базы со штыревыми выводами; высокой стоимостью конструкции. МПП, изготовленные методом металлизации сквозных отверстий, являются предпочтительными для крупносерийного производства.

МПП попарного прессования характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью металлизированных отверстий, соединяющих проводящие слои попарно; оптимальной четырехслойной конструкцией; предпочтительным применением элементной базы с планарными выводами; относительно высокой стоимостью конструкции.

МП 111 послойного наращивания характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью гальванически выращенных медных столбиков диаметром не

менее 0,8 мм; обязательным наличием контактных площадок на всех проводящих слоях в местах прохождения гальванических столбиков: высокой трудоемкостью изготовления; очень высокой стоимостью конструкции.

М1 111 с открытыми контактными площадками характеризуются: отсутствием межслойных соединений, использованием элементной базы как с планарными, так и со штырьевыми выводами, расположением проводников, принадлежащих одной цепи, на одном проводящем слое; обязательным наличием контактных площадок на все выводы навесных элементов независимо от того, задействованы они или нет; наличием расстояния между краем проводника и окном или краем ПП величиной не менее 0,5 мм.

В курсовом и дипломном проекте рекомендуется использование ДПП с учетом следующего.

Выбор типа плат зависит от требований к быстродействию конструируемой РЭА, серийности, сроков проектирования и изготовления. МПП, сохраняя свойства обычных ПП, имеют свои особенности, способствующие все более широкому их применению при миниатюризации электронных устройств:

- > более высокая плотность монтажа;
- > размещение монтажа в однородной зоне диэлектрической среды, отсюда более высокая устойчивость внутренних слоев к климатическим и механическим воздействиям;
- > размещение внутри МПП экранирующих «земляных» слоев значительно улучшает электрические характеристики устройства, а также имеется возможность использования этих слоев в качестве теплоотвода;
- > применение М1 111 позволяет значительно сократить длину соединений между навесными элементами, что имеет важное значение, особенно при работе на высоких частотах;
- > однако, принимая решение использовать многослойный печатный монтаж, необходимо учитывать, что МПП обладают низкой ремонтпригодностью наряду с высокой стоимостью, сложностью разработки, а их производство влечет за собой ряд технологических сложностей;
- > более жесткие допуски на параметры печатного монтажа по сравнению с обычными платами;
- > необходимость применения специального прецизионного технологического оборудования;
- > длительный и сложный технологический цикл изготовления;
- > обязательность тщательного контроля всех операций.

*Определение площади печатной платы* Ориентировочная площадь 1111 определяется по формуле:

$$S = \frac{1}{K_s} \sum_{i=1}^n S_{iycm} ,$$

где  $K_s$  - коэффициент заполнения ПП ЭРЭ, определяемый в зависимости от класса РЭА в пределах 0,4..0,85;  $S_{iycm}$  - установочная площадь ЭРЭ (справочные данные).

*Выбор габаритных размеров и конфигурации печатной платы*

Габаритные размеры ПП должны соответствовать ГОСТ 10317 — 79" при максимальном соотношении сторон 5:1. Рекомендуется разрабатывать ПП простой прямоугольной формы. Конфигурацию, отличной от прямоугольной, следует применять

только в технически обоснованных случаях. Типоразмеры ПП1 могут быть ограничены типовыми несущими конструкциями высших структурных уровней (блок, аппарат, стойка). В практической деятельности нужно руководствоваться выбранным вариантом компоновки устройства в целом, а при выборе габаритных размеров следует руководствоваться линейными размерами, установленными ГОСТ 10317 — 79\* (см. прил.1 в конце главы).

Максимальный размер наибольшей стороны ПП равен 470 мм. Для РЭА специального назначения один размер платы фиксирован и равен 170 мм, а второй изменяется следующим образом:

- > для самолетной и морской — 75 мм, 120 мм;
- > для стационарной и возимой — 75 мм, 120 мм, 240 мм;
- > для ЭВМ серии ЕС и специализированных систем управления применяется единый размер ПП 150 X 140 мм.

Сопрягаемые размеры контура ПП должны иметь предельные отклонения по 12-му качеству ГОСТ 25347 — 82 (СТ СЭВ 144 — 75). Не/сопрягаемые разделы контура ПП должны иметь по 14-му качеству ГОСТ 25347 — 82.

Толщина определяется толщиной исходного материала и выбирается в зависимости от используемой элементной базы и действующих механических нагрузок. Предпочтительными значениями номинальных толщин одно- и двусторонних ПП являются 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Допуск на толщину ПП Н, устанавливаются по соответствующим стандартам или ТУ на исходный материал (ГОСТ 23751 — 86).

#### Оценка размеров ПП по критерию вибропрочности

Оптимизация конструктивных параметров ПП по критерию вибропрочности - это обеспечение минимальных нагрузок для навесных элементов и материалов ПП при внешних механических воздействиях. Нагрузки на ПП от внешних механических воздействий определяются коэффициентом передачи вибраций, который есть отношение амплитуд колебаний на выходе и входе системы при фиксированной частоте. Для ПП входом системы являются края платы, закрепленные в рамки ячейки. Выходом колебательной системы является область, наиболее удаленная от краев платы, то есть центр платы. Коэффициент передачи обратно пропорционален жесткости пластины

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu)}$$

где  $D$  - жесткость ПП, Н/м;

$E$  - модуль упругости материала. Па;

$h$  - толщина ПП, м;

$M$  - коэффициент Пуассона. Некоторые значения  $E$  и  $M$  приведены в табл. 3.1.

Таблица. 3.1

Материал	Значение модуля упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона $\mu$
Стеклотекстолит	24...35	0,2
Гетинакс	10...18	0,47
Алюминиевые сплавы	65...70	0,32...0,36
АМГ	200	0,4
Сталь		
низкоуглеродистая		

Резонансная частота пластины, закрепленной по контуру, определяется " выражением (при распределенной нагрузке)

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

где  $a, b$  - соответственно длина и ширина ПП, м;  $m$  - масса платы с навесными элементами, кг;  $g$  - ускорение свободного падения, равное  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

Рекомендуется, чтобы резонансная частота ПП  $f_0$  отличалась от частоты внешних

колебаний  $f_a$ , по крайней мере, вдвое:  $f_0 \geq 2f_a$ .

При наличии высоких частот внешней вибрации, а также полигармонической вибрации избавиться от резонанса сложно — тут нужно искать компромиссное решение.

### **Выбор или обоснования класса точности**

По точности выполнения элементов конструкции ПП делится на пять классов точности. Номинальные значения основных параметров элементов конструкции ПП для узкого места приведены в табл.3.2.

Под элементами конструкции ПП подразумеваются элементы проводящего рисунка.

Таблица 3.2

Условное Обозначение	Класс точности				
	1	2	3	4	5
T	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
B	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
J	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Примечание: j - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы.

Печатные платы первого и второго классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. ПП третьего, четвертого и пятого классов точности требуют использования высококачественных материалов, инструмента и оборудования, ограничения габаритных размеров, а в отдельных случаях и особых условий при изготовлении.

Выбор класса точности необходимо проверить на электрические параметры. Предельные рабочие напряжения между проводниками, лежащими в одной плоскости, приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Расстояние между проводниками	Значение рабочего напряжения		
	фольгированный (ГФ)	гетинакс	фольгированный Стеклотекстолит (СФ)
Од., 0,2	0,2...0,3		25 50 100 200 350 500 650
0,3...0,4	0,4...0,5		
0,5...0,75	0,75...1,5	75 150 250 350 500	
1,5...2,5			

### **Выбор материала печатной платы**

Материал для ПП выбирают по ГОСТ 23751 — 86 или ТУ. Материалы, рекомендуемые для изготовления ПП, приведены в табл. 3.4. Основные параметры наиболее употребительных материалов сведены в табл.3.5.

Таблица 3.4

Марка материала	Толщина фольги, мкм	Толщина материала с фольгой, мм	Область применения
1	2	3	4
ГФ1—35, ГФ2—35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно-, двусторонние платы без гальванического соединения печатного слоя
СФ—1—35, СФ—2—35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно-, двусторонние платы с гальваническим соединением слоев
СФ—1—50, СФ—2—50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0;	Тоже

/Окончание таблицы 3.4

1	2	3	4
СФ-1Н-50, СФ-2Н-50	50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0;	Тоже
СФПН-1-50, СФПН-1-50 ФТС-1 ФТС-2	50 20 35	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 0,8; 0,15; 0,18; 0,27; 0,5 0,1; 0,12; 0,19; 0,23; 0,5	Одно-, двусторонние платы с повышенной нагревостойкостью МПП и гибкие ПП
ФДМ-1, ФДМ-2	35	0,25; 0,35	Гибкие ПП
СТФ-1-2ЛК	-	1;1,5	Одно-, двусторонние ПП
СТП-3. СТП-0,25	-	0,025; 0,06	Прокладки для МПП

Таблица 3.5

Параметр	Материал основания ПП		
	ГФ	СФ	ФДМЭ
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> не более	80	200	—
Предельно допустимое напряжение на изгиб, кгс/ см <sup>2</sup>	800...1400	2300	—
Плотность, г/ см <sup>3</sup>	1,3...1,4	1,6... 1,85	—
Водопоглощаемость, %, не более	5	3	—
Удельное электрическое объемное сопротивление, Ом*см	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц	0,038...0,045	0,025	0,025
Относительная диэлектрическая проницаемость на частоте 1МГц	7	6	5
Прочность сцепления печатных проводников с основанием платы при отрыве, Н/ мм <sup>2</sup> , не менее	1Д.2	2...3.5	2,5...4,0
Пробивное напряжение в направлении, перпендикулярном к поверхности платы, кВ/ мм, не менее	20	25	25
Рабочие температуры, °С	-60...+85	-60... +120	-60... +100

В бытовой РЭА обычно рекомендуется применять одно- или двусторонний ГФ. Для профессиональной РЭА рекомендуется использовать для жестких плат СФ различных марок, а для гибких ПП специальные фольгированные тонкие диэлектрики и полиамидные пленки.

#### **Выбор вида внешнего соединения печатных плат**

На выбор вида внешнего соединения (разъемного или неразъемного) влияет ряд факторов:

- > выбранный предварительный вариант компоновки (масса, габариты);
- > ремонтпригодность (принятая система ремонта и замены);
- ^ надежность внешних цепей.

Разъемные соединения обладают следующими особенностями:

- > масса и габариты соединения могут увеличиваться на 10...20% по сравнению с неразъемными;
- > несколько падает надежность межсоединений (отношение интенсивностей отказов разъемного и неразъемного контакта составляет около 1...4);

> уменьшается на 15...25% трудоемкость изготовления межячеечной коммутации.

В то же время использование гибких печатных плат на полиамиде позволяет изготавливать непрерывные ПП, сложенные в рулон, книжку без промежуточного переходного монтажа.

В разъемных конструкциях используются соединители различных типов.

### *3.1.3. Проведение компоновочных работ*

Процесс компоновки РЭА с печатным монтажом искусственно расчленяется на две подзадачи — оптимального размещения элементов и оптимальной трассировки. Задачей компоновки является разработка такого варианта расположения ЭРЭ на плате и такого рисунка печатных соединений, при котором устройство обеспечивало бы своему функциональному назначению и имело бы заданные параметры и характеристики. При этом рекомендуются следующие ограничения. При размещении

> обеспечение минимума теплового градиента: расположение теплонагруженных ЭРЭ по периметру;

> повышение надежности ячеек: размещение более надежных элементов в местах наибольшей амплитуды виброускорений (в центре платы);

> повышение жесткости ПП — установка более тяжелых элементов ближе к точкам крепления;

> введение экранов и выделение для них места;

> определение рабочей площади ПП для размещения. При оптимальной трассировке:

> длина отдельных проводников;

> обеспечение минимума паразитных связей;

> учет эффекта длинных линий (формирование полосковых линий и их согласование);

> определение рабочей площади ПП для трассировки.

Размещение навесных элементов рекомендуется осуществлять следующим образом: принципиальная электрическая схема разбивается на функционально связанные группы, составляется таблица соединений, производится размещение навесных элементов в каждой группе; группа элементов, имеющая наибольшее количество внешних связей, размещается вблизи соединителя; группа элементов, имеющая наибольшее число связей с уже размещенной группой навесных элементов, размещается рядом и т.д. По ГОСТ 25751 — 83 необходимо выполнить рациональное размещение '- навесных элементов с учетом электрических связей и теплового режима с обеспечением минимальных значений длин связей, количества переходов печатных проводников со слоя на слой, паразитных связей между навесными элементами; кроме этого, если возможно, то целесообразно выполнить равномерное распределение масс навесных элементов по поверхности платы с установкой элементов с большей массой вблизи мест механического крепления платы.

При установке элементов на ПП рекомендуется учесть следующие правила установки элементов:

> для обеспечения возможности групповой пайки все ЭРЭ устанавливаются только с одной стороны платы, исключая тем самым воздействия припоя на элементы;

> при установке элементов их выводы крепят в монтажных отверстиях платы, причем в каждом отверстии можно размещать лишь один вывод элемента;

> центры монтажных и переходных отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки (то же рекомендуется и для крепежных отверстий);

> навесные двухвыводные элементы следует размещать на ПП параллельно линиям координатной сетки. Для удобства автоматизации процесса установки ЭРЭ на плату целесообразно располагать их рядами;

> должно соблюдаться определенное расстояние от корпуса элемента до места пайки, регламентируемое ГОСТами или ТУ на данный элемент;

> расстояние между корпусами соседних ЭРЭ выбирают из условия лучшего теплоотвода и допустимой разности потенциалов (относительно выводов);

> конструктивные детали механического крепления (скобы, держатели, хомуты и др.) выбираются из числа рекомендованных или конструируются вновь с учетом механических перегрузок, действующих на изделие.

Рациональная компоновка ЭРЭ на ПП невозможна без творческого подхода, обдуманного выбора технического решения, построенного на разумных компромиссах между противоречивыми требованиями схемы, конструкции, условий эксплуатации, возможностями технологии и стоимостью.

Важно правильно оценить значимость (вес) каждого предъявляемого к конструкции требования. Очевидно, что для одной и той же схемы можно предложить несколько различных вариантов компоновки (рис.3.6). Учитывая специфику усилительных устройств, лучшим среди трех предложенных вариантов компоновки надо признать вариант III, т.к. здесь осуществлено максимальное разнесение входных и выходных цепей, проводники корпуса («Общ.») и питания («-6,5 В») дополнительно экранируют вход и выход. Второй вариант хуже не только с электрических, но и с технологических позиций: об этом свидетельствуют узкие места на плате. Наличие узких мест влечет за собой необходимость занижения ширины печатных проводников и контактных площадок вокруг монтажных отверстий, что чревато опасностью отслаивания их от платы в процессе изготовления. Первый вариант (см. рис. 3.6) компоновки вообще неприемлем вследствие неправильной распылки выводов транзисторов. Из приведенного анализа различных вариантов компоновки простейшего функционального узла ясно, что нахождение оптимального компоновочного решения является весьма сложной задачей.

В целях упрощения процесса компоновки рекомендуется применять аппликационный метод. Он состоит в том, что расстановку ЭРЭ на ПП осуществляют за счет перемещения проекций элементов, вырезанных из плотной бумаги, картона на листе бумаги с расчерченной координатной сеткой. Результат компоновки удобнее всего представить в виде компоновочного эскиза (см. рис. 3.6), по нему нетрудно в дальнейшем оформить чертежи платы и сборки узла. ЭРЭ нужно распределить на плате относительно равномерно и по возможности более плотно, стремясь к уменьшению габарита платы. Получившиеся размеры платы необходимо скорректировать и привести в соответствие с ГОСТ 10317 — 79\*.

Можно количественно оценить некоторые компоновочные параметры:

плотность  
упаковки

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{ab},$$

коэффициент использования площади платы  $\eta = \frac{N}{abc},$

коэффициент заполнения объема блока

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{abc},$$

где  $N$  - количество ЭРЭ, установленных на плате;  $S_i$ ,  $V_i$  соответственно установочная площадь и установочный объем  $i$ -го элемента схемы;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — соответственно длина, ширина и высота на печатной плате.



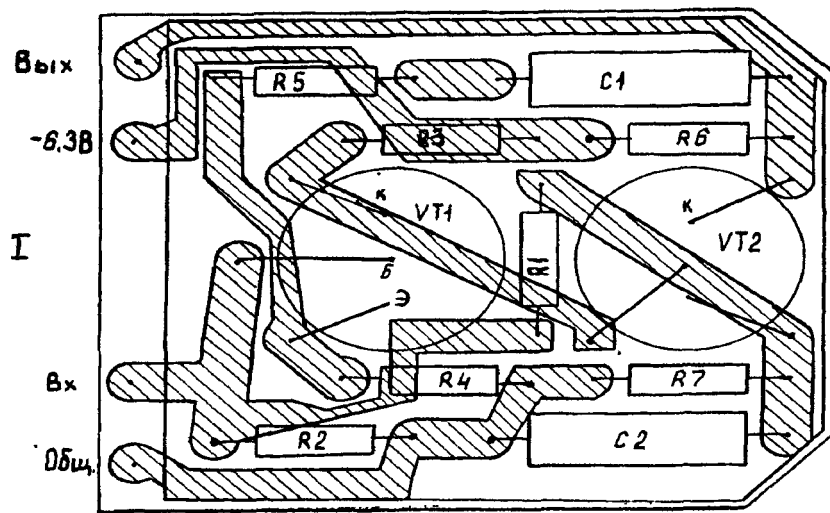
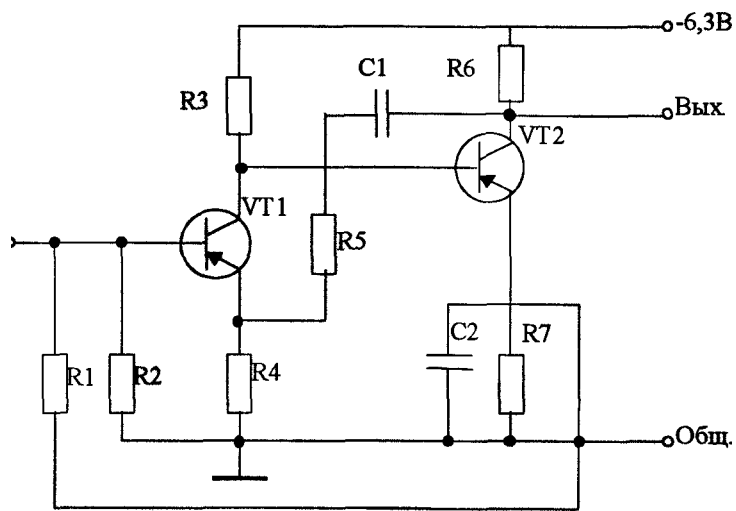


Рис.3.6. Пример компоновочного эскиза

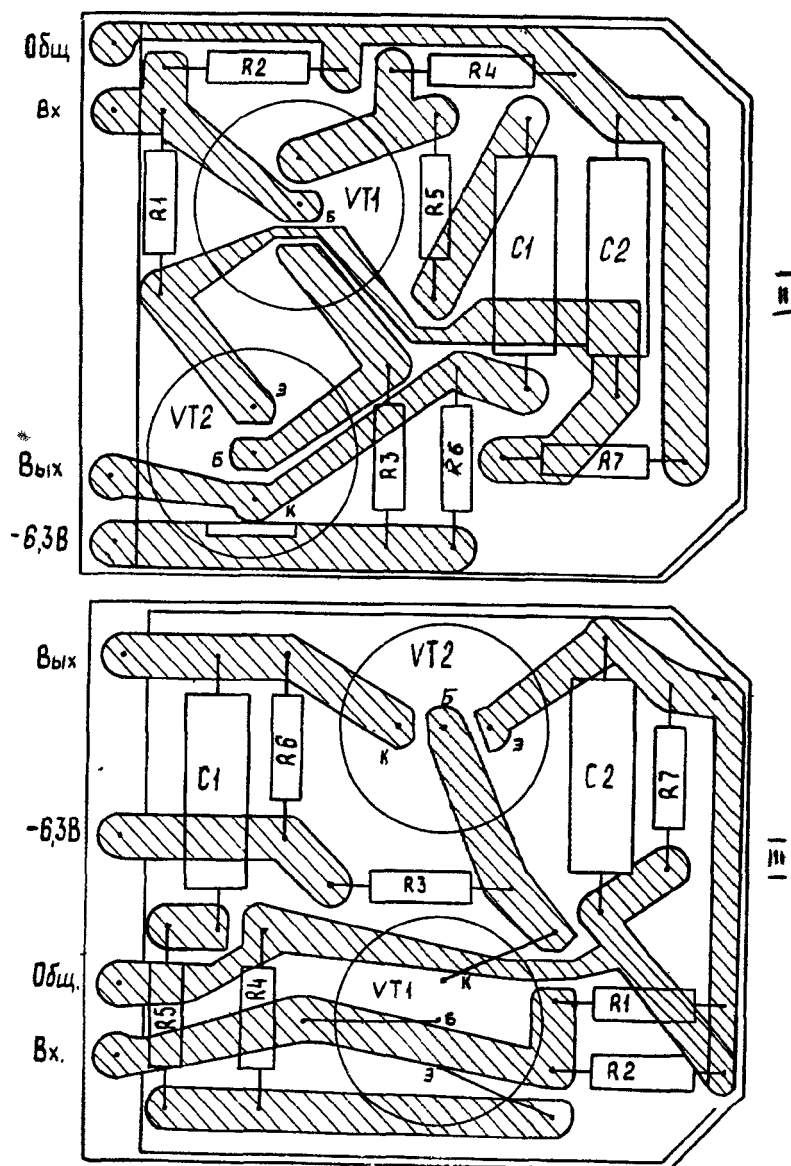


Рис.3.6. Пример компоновочного эскиза (продолжение)

При увеличении плотности упаковки РЭА не следует забывать, что полупроводниковые элементы и микросхемы необходимо размещать как можно дальше от мощных тепловыводящих элементов и от элементов, являющихся источниками переменных и постоянных магнитных полей (трансформаторы, дроссели и др.).

Окончательное выяснение качества и рациональности компоновки может быть проверено макетированием.

Компоновку (размещение) элементов проводящего рисунка целесообразно проводить, используя каналные алгоритмы трассировки. Для выполнения трассировки по этому методу необходимо вычертить эскиз ПП в масштабе 4:1 на прозрачной пленке или кальке, нанести на него с двух сторон координатную сетку и обозначить посадочные места. Качество трассировки значительно повышается, если перед трассировкой по результатам размещения было выполнено построение ортогональных минимальных деревьев и получена таблица соединений. Пользуясь этой таблицей, сначала выполняют трассировку цепей простой конфигурации, реализуемых без перехода из канала в канал, а затем проводятся отрезки трасс, подходящие к контактам модулей. Далее производится

распределение фрагментов трасс по горизонтальным каналам. Сановным критерием служит такое назначение фрагмента магистрали, при котором возникает минимальное количество конфликтных ситуаций. Если трасса соединяет контакты микросхем, расположенные с одной стороны канала, то ей выделяется ближайшая с этой стороны магистраль. Основным ограничением при распределении фрагментов трасс по магистралям является пропускная способность канала. Если в канале имеются участки, где число фрагментов трасс больше числа магистралей, то необходимо скорректировать размещение. Если трасса соединяет контакты микросхем, к которым подходят различные горизонтальные каналы, то соединения проведенных ранее горизонтальных отрезков осуществляются в вертикальных каналах. Эти две операции повторяются до тех пор, пока все трассы не будут разведены.

На расположение элементов печатного монтажа действует ряд ограничений, связанных с технологическими особенностями производства и обеспечением необходимых электрических параметров схемы электрической принципиальной.

Форма печатных проводников и их взаимное расположение оказывают значительное влияние на электрические параметры схемы, поэтому при разработке высокочастотных схем, импульсных и частотно-зависимых схем необходимо тщательно исследовать взаимное расположение проводников.

Печатные проводники рекомендуется выполнять одинаковой ширины по нормам для свободного места на всем их протяжении. Сужать проводники до минимального значения следует только в узком месте на возможно меньшей длине. Проводники шириной более 5 мм, расположенные на 1111 со стороны пайки и на внутренних слоях МПП, выполняют в соответствии с

рекомендациями для конструирования экрана (ГОСТ 25751 — 83).

При компоновке печатного монтажа проводники следует располагать равномерно по полной площади ПП с учетом следующих требований:

- ^ параллельно линии координатной сетки или под углом, кратным  $15^\circ$ ;
- > как можно более короткими;
- > параллельно направлению движения волны припоя или под углом к нему не более  $30^\circ$  со стороны пайки, если проводящий рисунок не покрывают защитной маской;
- > во взаимно перпендикулярных направлениях на соседних проводящих слоях ПП;
- > перпендикулярно касательной к контуру контактной площадки.

В целях уменьшения сложности проводящего рисунка допускается применение перемычек в количестве не более 5% от общего числа печатных проводников. Экраны выполняют в одной плоскости с проводящим рисунком или как самостоятельно проводящие слои. Все экраны выполняют с вырезами. Площадь вырезов должна быть не менее 50% общей площади экрана. Форма вырезов произвольная, определяется конструктором.

Печатные контакты переключателей располагают произвольно на любом участке полезной площади ПП. Размеры и взаимное расположение площади печатных контактов определяет конструкция переключателя. Концевые печатные контакты располагают на краю ПП, размеры которых определяют из технических условий на гребенчатый соединитель.

Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон ПП. На внутренних слоях МПП контактные площадки должны быть у тех отверстий, которые связаны электрически с проводящим рисунком данного слоя.

Неметаллизированные монтажные отверстия следует располагать в зоне контактной площадки. Контактные площадки могут иметь произвольную форму, предпочтительной является круглая. Контактная площадка, предназначенная под установку первого вывода многовыводного элемента, должна иметь форму, отличную от остальных. Контактные площадки на проводниках и экранах рекомендуется выполнять в соответствии с рис. 3.7. Контактные площадки для автоматического контроля и диагностики следует выполнить

круглой формы диаметром не менее 2 мм и располагать в узлах координатной сетки с шагом 2,5 мм в свободных местах в шахматном порядке так, чтобы расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на одной линии, и координатной сетки было кратно 5, а расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на соседних линиях координатной сетки, равно 2,5.

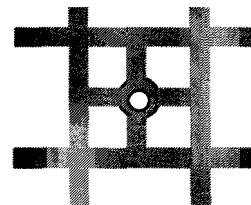


Рис.3.7.

Центры монтажных отверстий под неформуемые выводы многовыводных элементов, межцентровые расстояния которых не кратны шагу координатной сетки, следует располагать таким образом, чтобы в узле координатной сетки находился центр по крайней мере одного из монтажных отверстий, центры монтажных отверстий под остальные выводы располагать в соответствии с требованиями конструкции устанавливаемого элемента. Взаимное расположение монтажных отверстий под выводы навесных элементов должно соответствовать ОСТ 4 ГО.010.030 — 81; ОСТ 4.091.121 — 79; ОСТ 5.070.010—78.

Размеры и конфигурацию крепежных и других конструктивных отверстий, например для корпуса навесных элементов, выбирают по ГОСТ 11284 — 75 в зависимости от требований конструкции устанавливаемого элемента. Не рекомендуется использовать более трех различных диаметров монтажных отверстий. Все отверстия на ПП выполняют без зенковок. Допускается у металлизированных отверстий 1111 притупление острых кромок и частичное затягивание фольги в неметаллизированные отверстия. При расчете диаметра контактной площадки наличие притупления кромок не учитывают. Все печатные контакты на плате должны иметь износостойчивое покрытие, которое указывают на чертеже.

#### *Конструктивные покрытия*

Стабильность электрических, механических и других параметров ПП может быть обеспечена применением металлических и неметаллических конструктивных покрытий.

Конструктивные покрытия выбирают по ОСТ 4.ГО.024.000. Вид и толщину покрытия указывают в чертеже. В качестве конструктивных покрытий рекомендуется использовать металлы и сплавы, приведенные в табл. 3.6.

Неметаллическое конструктивное покрытие используют в следующих случаях: для сохранения паяемости; для защиты проводников и поверхности основания ПП от воздействия припоя; для защиты элементов проводящего слоя.

Таблица 3.6

Покрытие	Толщина, мкм	Назначение покрытия
Сплав «Розе» Сплав олово-свинец	4...10 9...12	Защита от коррозии, улучшение способности к пайке Тоже
Сплав олово-кобальт	9...12	Тоже
Серебрение	6... 12	Улучшение электропроводности и повышение износостойчивости переключателей и концевых контактов соединителей
Сплав серебро-сурьма	6...12	Тоже
Золотое	0,5...2,5	Снижение переходного сопротивления и повышение помехоустойчивости
Палладиевое	1...5	Повышение износостойчивости концевых контактов и переключателей
Никелевое	3...6	Придание поверхности переключателей твердости; используется в качестве подслоя под палладиевое покрытие

Для сохранности паяемости используют спирто- и ацетоноканифольные лаки. Данное покрытие является технологическим, его в чертеже не указывают. Для защиты проводников и поверхности основания платы от воздействия припоя используют резистивные маски на основе эпоксидных смол, сухого пленочного резиста, холодных эмалей, оксидных пленок. Для защиты элементов проводящего рисунка от замыкания навесными элементами используют прокладочные стеклоткани, гегинаксы и другие изоляционные материалы.

#### 3.1.4. Конструктивно-технологические расчеты

Конструктивно-технологический расчет ПП производится с учетом производственных погрешностей рисунка проводящих элементов, фотошаблонов, базирования, сверления и т.д.

Нормы на конструирование ПП устанавливаются ГОСТ 2.417 — 91, ГОСТ 10317 — 79, ГОСТ 23751 — 86, ГОСТ 22318 — 77.

Координатная сетка в декартовой системе координат имеет шаг 2,5; 1,25; 0,5 мм. Большую сторону ПП ориентируют по оси X. Шаг координатной сетки ПП, применяемых в изделиях автоматизации промышленных процессов, измерительной и вычислительной технике, рекомендуется определять:

Наименьшее расстояние для размещения элементов:	от —	0,1	0,500	0,625	1,25	2,50
	ДО 0,1	0,5	0,625	1,250	2,50	

Шаг сетки            0,1    0,1    0,5    0,625    1,25    2,50

Диаметры монтажных и переходных отверстий должны соответствовать ГОСТ 10317 — 79\*. Предпочтительные размеры монтажных отверстий выбирают из ряда 0,7; 0,9; 1,1; 1,5; 1,5 мм, а переходных отверстий из ряда 0,7; 0,9; 1,1 мм. Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий ( в миллиметрах) в соответствии с ГОСТ 25751 — 83 приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Диаметр отверстия	Наличие металлизации	Класс точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Нет	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,025
	Есть	±0,05	±0,05	+0	+0	+0
Свыше 1,0	Нет	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10
	Есть	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,05

Предельные отклонения ширины печатных проводников, площадок, экранов и др. для узких мест указаны в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Наличие металлического покрытия	Класс точности				
	1	2	3	4	5
Без покрытия	±0,15	±0,00	±0,03	±0,03	±0
С покрытием	±0,25	±0,15	±0,10	±0,05	±0,03
	±0,20	±0,10	±0,08		

Позиционные допуски по ГОСТ 23751 — 86 для осей отверстий применять по табл. 3.9.

Таблица 3.9

Размер большой стороны платы	Класс точности				
	1	2	3	4	5
L ≤ 180 180 < L < 560	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
L > 360	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

Предельные отклонения значения номинального расстояния между центрами двух отверстий ПП определяют как полусумму позиционных допусков расположения центров этих отверстий.

Значение позиционного допуска  $\sigma_P$  расположения контактных площадок относительно его номинального положения выбирают по табл. 3.10

Таблица 3.10

Вид платы	Размер большой стороны платы	Класс точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП ГПК, МПП (наружный слой)	L < 180 180 < L	0,35 0,40	0,25	0,15 0,20	0,10 0,15	0,05
	< 360 L > 360	0,45	0,50 0,35	0,25	0,20	0,08 0,15
МПП	L < 180	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
(внутренний слой)	180 < L < 360 L > 360	0,45 0,50	0,35 0,40	0,25 0,30	0,20 0,25	0,15 0,20

Основные формулы для расчета размеров элементов конструкции ПП:

1. Номинальные значения диаметра монтажного отверстия,

$$d = d_{\text{э}} + r + |\Delta d_{\text{H0}}|$$

где  $d_{\text{э}}$  — максимальное значение диаметра вывода навесного элемента, устанавливаемого на ПП;

$r$  — разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого элемента;

$\Delta d_{\text{H0}}$  — нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

Диаметры монтажных отверстий рекомендуется выбирать так, чтобы значения  $r$  были в пределах 0,1...0,4 мм.

2. Номинальное значение ширины проводника  $t$  в миллиметрах рассчитывается по формуле

$$t = t_{\text{мд}} + |\Delta d_{\text{H0}}|,$$

где  $t_{\text{мд}}$  — минимально допустимая ширина проводника;

$\Delta d_{\text{H0}}$  — нижнее предельное отклонение ширины проводника.

3. Номинальное значение расстояния между соседними элементами проводящего рисунка  $S$  в миллиметрах определяют по формуле

$$S = S_{\text{мд}} + \Delta t_{\text{во}},$$

где  $S_{\text{мд}}$  — минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка;

$\Delta t_{\text{во}}$  — верхнее предельное отклонение ширины проводника.

Величину  $S_{м.Д.}$  выбирают из расчета обеспечения электрической прочности изоляции в соответствии с ГОСТ 23751 — 86 или по ОСТ 4.010.019—81.

4. Расчет минимального диаметра контактной площадки производят по формуле

$$D = (d + \Delta d_{BO}) + 2b + \Delta t_{BO} + 2\Delta d_{mp} + \sqrt{\delta d^2 + \delta p + \delta t_{HO}^2},$$

где  $\Delta d_{BO}$  — верхнее предельное отклонение диаметра отверстия;

$\Delta d_{mp}$  — глубина подтравливания диэлектрика для МПП (принимается равной 0,03 мм).

5. Расчет минимального расстояния для прокладки  $n$ -го количества проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметрами  $D_1$  и  $D_2$  производят по формуле

$$l = \frac{(D_1 + D_2)}{2} + t_n + s(n + 1) + \delta l,$$

где  $n$  — количество проводников;

$\delta l$  — допуск, который учитывается только при  $n > 0$ .

6. Сопротивление изоляции  $R_n$  параллельных проводников приближенно вычисляется как

$$R_n \cong \frac{R_s R_v}{R_s + R_v},$$

где  $R_s$  — поверхностное сопротивление изоляции,

$$R_s = \frac{p_s S_{\min}}{S}$$

$R_v$  — объемное сопротивление изоляции,

$$R_v = \frac{p_v d}{S}$$

$S_{\min}$  — минимальная площадь проекции печатных проводников друг на друга.

Для нормальной работы ПП сопротивление изоляции между разобщенными цепями в условиях наивысшей влажности должно подчиняться неравенству  $R_i > 10^3 R_{вх}$ , где  $R_{вх}$  — входное сопротивление коммутируемых схем.

7. При оценке теплового режима ЭРЭ на ПП необходимо исходить из того, что максимальная рабочая температура ЭРЭ обычно ограничивается пределами  $T_{\text{э}} = 75 \dots 85$  °С. С другой стороны, температура несущей базовой конструкции, которая принимается условно как бесконечно теплоемкий радиатор, может иметь следующие значения:

для естественной конвекции  $T = 25$  °С;

для принудительных видов охлаждения  $T_k = 15$  °С.

Перегрев элемента определяется следующим образом  $\Delta T_{\text{э}} = T_{\text{э}} - T_k$  и составит  $\Delta T_{\text{э}} = 50 \dots 60$  °С. Перегрев имеет в основном две составляющие:

$$\Delta T_{\text{э}} = \Delta T_{\text{н}} + \Delta T_{\text{в}},$$

где  $\Delta T_{\text{н}}$  — наружный перегрев (перегрев в результате теплового взаимодействия поверхности элемента с окружающей средой);

$\Delta T_{\text{в}}$  — внутренний перегрев (перегрев ЭРЭ вследствие прохождения тепловой энергии по внутренним конструктивным элементам). Перегрев связан с тепловым сопротивлением соотношением

$$\Delta T = K_t P, \text{ где } P \text{ — мощность, рассеиваемая элементом, Вт.}$$

Величина внешнего перегрева может определяться также по формуле

$$\Delta T_{\text{н}} = \frac{10^{-4} P}{\alpha S},$$



где  $S$  — площадь поверхности элемента,  $\text{см}^2$ ;  
 $a$  — коэффициент теплообмена между поверхностью и окружающей средой,  
 $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Условия охлаждения	$a, \text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Естественная конвекция: воздух пар фреона жидкий фреон Принудительная конвекция:	$(6...25) \cdot 10^{-4}$ $(3...20) \cdot 10^{-3}$ $(3...4) \cdot 10^{-2}$
воздух пар фреона вода и жидкий фреон Кипение:	$(0,25 \dots 10) \cdot 10^{-2}$ $(2 \dots 2) \cdot 10^{-2}$ $10^{-2}$ $(4 \dots 80) \cdot 10^{-2}$
жидкий фреон вода	0,15 ...0,7 0,5 ... 1.3

Внутренний перегрев АТв в значительной мере зависит от теплопроводности материала, из которого изготовлены корпус или плата. В табл. 3.12 приведены данные по тепловому сопротивлению для различных модификаций печатных плат.

Можно произвести полный расчет теплового сопротивления от температуры воздуха, составив его тепловую схему. Суммарный перегрев должен быть не больше допустимого. Если это условие не выполняется надо искать пути уменьшения теплового сопротивления по «внутренним» и «внешним» каналам.

Таблица 3.12

Основание ПП	Температура ЭРЭ, $^\circ\text{C}$	Тепловое сопротивление, $^\circ\text{C} / \text{Вт}$
Стеклоэпоксидное (гетинакс, стеклотекстолит и др.)	70... 90	26
Стеклоэпоксидное с теплоотводящей медной фольгой	65 ...90	16
Гибкая ПП, приклеенная на стальное основание	18... 23	8 .

### Проверочные расчеты

Подтверждением соответствия конструктивного решения ПП заданному ТЗ являются результаты проверочных расчетов, перечень и место которых определяется индивидуально в зависимости от применяемых методов, способов и принципов конструирования.

#### Расчет по постоянному току

Расчет по постоянному току практически выполняется для цепей «питания» и «земли». Необходимо оценить наиболее важные электрические свойства ПП по постоянному току: нагрузочную способность проводников по току, сопротивление изоляции и диэлектрическую прочность основания платы. Практически сечение проводника рассчитывают по допустимому падению напряжения  $U_{\text{п}}$  на проводнике

$$U_{\text{п}} = \rho \frac{I_{\text{п}}}{h\phi\phi}, \quad \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление проводника (табл. 3.13),

Таблица 3.13

Металлы	Удельное электрическое сопротивление, $10^{-8}$ Ом-мм <sup>2</sup>	Металл	Удельное электрическое сопротивление, $10^{-8}$ Ом-мм <sup>2</sup>
Медная фольга	1,72	Палладий	10,80
Гальваническая медь	1,90	Никель	7,80
Химическая медь	2,80	Серебро	1,59
Золото	2,22		

$h_{\phi}$ ,  $t$ ,  $l_n$  — соответственно толщина фольги, ширина и длина проводника, мм;

$J_n$  — ток через проводник (определяется из условий работы схемы электрической принципиальной).

Для электронных логических схем допустимое падение напряжения в цепях «питание» и «земля» не должно превышать 1 — 2% от номинального значения подводимого напряжения  $E_k$ , поэтому требуемое сечение печатного проводника шины «питание» и «земля» вычисляется по формуле

$$S_{n_3} \geq \rho \frac{l_n}{(0,01 \dots 0,02) E_k} J_n,$$

$$S_{n_3} = h_{\phi} t$$

— сечение печатного проводника шины «земля».

### 3.1.5. Разработка печатных плат автоматизированным методом

Алгоритмы размещения и трассировки подробно изучаются в курсах «Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР», «Автоматизация конструкторского проектирования с применением САПР».

Указанные алгоритмы широко используются в автоматизированных Системах проектирования ОПП, ДПП и МП 111. Так, в программных модулях размещения однотипных интегральных микросхем на предварительно выделенных установочных местах используются алгоритмы парных и групповых перестановок, алгоритм последовательного размещения, итеративные алгоритмы, алгоритм случайных назначений.

В программных модулях размещения разногабаритных элементов используются алгоритмы последовательно-группового размещения на основе применения принципа дихотомического деления множества размещаемых элементов, последовательно-одиночного размещения на основе применения функции плотного размещения и некоторые другие.

В программных модулях трассировки наиболее широко применяются волновой и лучевой алгоритмы и их многочисленные модификации.

Разработка функциональных модулей (узлов) с печатным монтажом на основе применения САПР является экономически наиболее целесообразной, рациональной и перспективной по сравнению с другими методами — полуавтоматизированными и ручными.

Рассмотрим особенности конструирования при использовании САПР.

В настоящее время разработаны и находятся в эксплуатации САПР, предназначенные для конструкторского проектирования ОПП, ДПП и МП 111, например:

САПР «Рапира — 5.3» и ее дальнейшая, более совершенная модификация ДРАМ — 5.3, их назначение — конструкторское проектирование ОПП и ДПП;

САПР ПРАМ 2.4; назначение — конструкторское проектирование ИЛИ со сквозной металлизацией отверстий.

САПР реализуется на ЕС ЭВМ штатной конфигурации с объемом оперативной памяти 520 — 1000 кбайт. Для работы с любой из перечисленных систем конструктор должен предварительно подготовить банк данных, в котором сосредоточена информация об элементной базе, используемой в разрабатываемых РЭА. Для каждого из элементов указываются: габариты корпуса, координаты выводов в локальной системе координат, связанной с элементом, обозначение элемента по стандарту (ТУ), электрические характеристики элемента. В некоторых системах в базу данных входит информация о типоразмерах ПП, на которых реализуются функциональные узлы.

Непосредственная работа с системой сводится к подготовке, набивке на перфокартах формализованного задания и вводу его в систему, контролю промежуточных результатов, выдаваемых системой, в частности результатов размещения и трассировки каждого слоя, выводимых на АЦПУ, к корректировке этих результатов.

В режиме взаимодействия САПР с АРМ-Р представляется возможным выполнять подготовку формализованного задания и вводить его в систему, производить коррекцию данных, выдаваемых системой, а также получать управляющие перфоленты.

Комплект конструкторско-технологической документации, который обеспечивает САПР, включает:

- > управляющие перфоленты для координатографов (КПА-1200 и др.) для получения фотооригиналов каждого слоя;
- > спецификация на разрабатываемый узел;
- > сборочный чертеж;
- > управляющие перфоленты для сверлильных станков с ЧПУ (ОФ-72Б, ВП-910и др.);

- > эскизы размещения и трассировки;
- > перечень элементов к ЭЗ;
- > ведомость покупных изделий;
- > таблица цепей и перечень неразведенных трасс;
  - > управляющие перфоленты для стендов контроля готовых плат. Указанные документы соответствуют требованиям ГОСТ 2.004—88.

### 3.1.6. Оформление чертежей печатных плат

Печатная плата является специфической деталью и выполняется в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 2 417 — 91 и ОСТ 4.0.10.019—81.

Чертеж односторонней и двусторонней печатных плат именуется «Плата печатная», ему присваивают класс в соответствии с классификатором. Чертеж многослойной печатной платы именуется «Плата печатная многослойная», сборочный чертеж. Чертеж слоя многослойной печатной платы с проводящим рисунком, расположенным с одной или с двух сторон, именуется «Слой многослойной печатной платы». Иногда делают дополнительную проекцию печатной платы без проводников, на которой проставляют размеры для механической обработки печатной платы, маркировки и т.д.

Чертежи печатной платы выполняют в масштабах 1:1, 2:1, 4:1; 5:1, 10:1. Однако, если шаг координатной сетки 1,25 мм, то используют масштаб не менее 4:1. На чертеже изображают основные проекции. С печатными проводниками и отверстиями допускается приводить дополнительные виды с частичным изображением рисунка. Чертеж слоя многослойной печатной платы следует изображать на отдельном листе. На чертеже слоя рекомендуется проставлять габаритные размеры.

На чертеже печатной платы наносят координатную сетку тонкими сплошными линиями толщиной 0,2...0,5 мм. Линии координатной сетки относительно нулевой нумеруют через один или несколько шагов (но не более пяти) цифрами. Допускается простановка номеров линий по четырем сторонам чертежа платы по ГОСТ 2.303 — 68.

На чертеже печатной платы размеры должны указываться одним из следующих способов (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.303-68):

- > нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат (линии сетки нумеруются);
- > нанесением координатной сетки в полярной системе координат;
- > комбинированным способом с помощью размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат.

Шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат по ГОСТ 10317-79 \*: основной шаг 2,50 мм, дополнительный — 1,25 или 0,5 мм.

За ноль в прямоугольной системе координат на главном виде печатной платы следует принимать:

- > центр крайнего левого нижнего отверстия, находящегося на поле платы (в том числе и технологического);
- > левый нижний угол печатной платы;
- ^ левую нижнюю точку, образованную линиями построения,

На чертеже круглых печатных плат за ноль в прямоугольной системе координат допускается принимать центр печатной платы. Если размеры и конфигурация рисунка печатной платы оговорены в технических требованиях чертежа, то допускается элементы печатных плат изображать условно.

При автоматизированном и полуавтоматизированном способе выполнения документации допускается отступление от масштаба по одной или обоим осям. Степень отклонения от масштаба определяется конструкцией воспроизводящих устройств.

При необходимости указать границы участков платы, которые не допускаются занимать проводниками, на чертеже следует применять штрихпунктирную утолщенную линию.

Проводники на чертеже должны изображаться одной линией, являющейся осью симметрии проводника, при этом на чертеже следует указывать численное значение ширины проводника. Проводники шириной более 2,5 мм могут изображаться двумя линиями, при этом если они совпадают с линиями координатной сетки, численное значение ширины не указывают.

Размеры отверстий, их количество, размеры зенковок и другие сведения помещают в таблице на поле чертежа. Рекомендуемая форма таблицы приведена на рис.3.8.

30	30	30	35 ←	30	25
Условно обозначение отверстия	Диаметры отверстий, мм	Диаметры зенковок с двух сторон, мм	Наличие металлизации в отверстиях	Диаметры контактных площадей, мм	Количество отверстий

Рис.3.8. Пример таблицы

Данные для ее заполнения для плат толщиной 1,5...2,0 мм приведены в табл.3. 14.

Таблица 3. 14

Диаметр вывода элемента, мм	Диаметр отверстия в плате, ММ	Диаметр зенковок с двух сторон, мм	Диаметр контактной площади, мм	Диаметр выводов элемента, мм	Диаметр отверстия в плат	Диаметр зенковок с двух сторон, ММ	Диаметр контактной площади
0,5—0,6	0,8	1,1 x 70	2,2	1,3-1,5	1,8	2,2X70	4,0
0,7—0,8	1,0	1,5x70	2,5	1,8-2,0	2,2	2,8X70	5,0
0,9—1,0	1,3	1,8x70	3,0	2,0-2,2	2,5	3,0X70	5,5
1,2—1,3	1,5	2,0x70	3,5	2,4-2,6	2,8	3,2X70	6,0

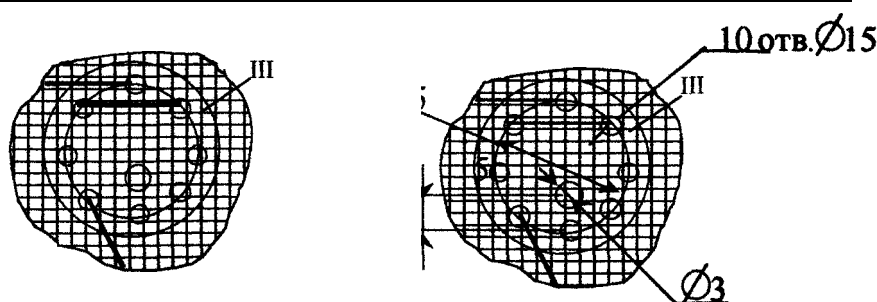


Рис. 3.9. Пример условных обозначений

Круглые отверстия, имеющие зенковку и круглые контактные площадки с круглыми отверстиями (в том числе и с зенковкой), показывают упрощенно — одной окружностью (без окружностей зенковки и контактной площадки). Чтобы их различать, используют условные обозначения (рис.3.9), в этом случае в технических требованиях чертежа оговаривают форму и размеры контактной площадки.

Для простановки размеров контактной площадки под многовыводные элементы контактную группу выделяют на плате или выносят на поле чертежа (рис.3.10 а, б). Отверстия, расстояния между которыми кратны шагу координатной сетки, располагают в ее узлах, остальные — согласно установочным размерам. Выносной элемент используют для облегчения чтения чертежа. Печатные элементы (проводники, экраны, контактные

площадки и др.) положено штриховать (рис.3.10 а, б). При ширине

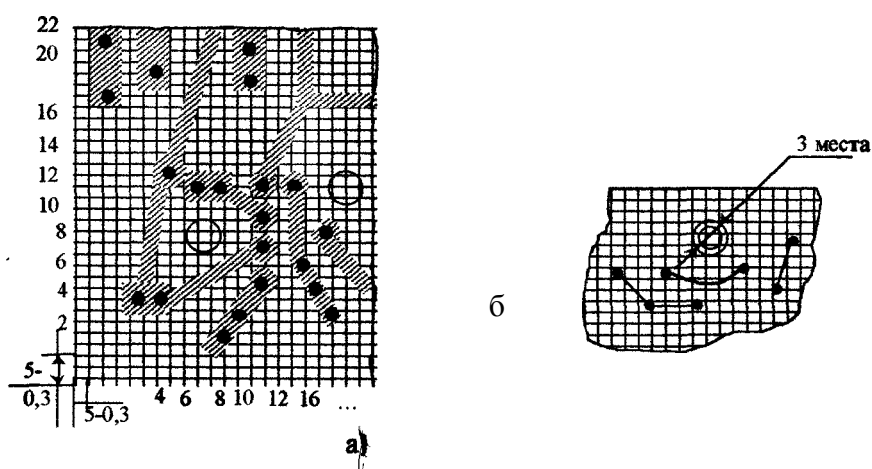


Рис.3.10. Пример простановки размеров контактной площадки

проводника на чертеже менее 2 мм (а иногда и более, если действительная ширина указывается в технических требованиях) их изображают сплошной контурной линией. Если проводник имеет по длине переменную ширину, то ее указывают на каждом участке. Если проводник с переменной шириной переходит с одного слоя на другой, то размеры его указывают на изображении этих слоев.

Диаметр, мм	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
Условные обозначения отверстий					

При наличии на чертеже печатной платы двух и более проводников, имеющих заданную ширину, допускается их изображение выполнять штриховкой, зачеркиванием и др линиями. При необходимости форму и размеры вырезов на широких проводниках и экранах показывают на чертеже.

Маркировку располагают на чертеже печатной платы с одной или двух сторон. При необходимости способ маркировки указывают в технических требованиях чертежа.

При конструировании печатной платы под групповой метод пайки направление пайки рекомендуется указывать на поле чертежа печатной платы.

Над основной надписью помещают технические требования в соответствии с ГОСТ 2.417 — 91 в следующей последовательности:

- > способ изготовления платы;
- > шаг координатной сетки;
- > допускаемые отклонения очертаний проводников, контактных площадок и других печатных элементов от заданных чертежом;
- > ширина печатных проводников и зазоры между ними в свободных и узких местах;
- > наименьшее расстояние между проводниками;
- > требования к подрезке и смещению контактных площадок;
- > указания о маркировании и клеймении;
- > указания о контроле.

Пример записи технических требований приведен в приложении 2 в конце главы.

На поле чертежа 1111 необходимо указывать:

- > габаритные размеры 1111; координаты монтажных, технологических и контактных отверстий;
- > размеры контактных площадок;

> допуск на расстояние между базовым отверстием (началом координат) и любым монтажным отверстием (обычно  $\pm 0,2$  мм);

> количество отверстий каждого размера и их размеры (если нужно, указанием зенковки);

> шероховатость (чистоту обработки) поверхности;

> класс точности выполнения размеров: размеры, указанные без допуска, обычно исполняются по 12 или 14 качеству.

На чертежах печатных плат допускается:

> наносить позиционные обозначения электро- и радиоэлементов;

> указывать сторону установки навесных элементов надписью, помещаемой над изображением;

> помещать электрическую схему.

#### *Содержание работы*

1. Каждому студенту выдается принципиальная схема, на которой обозначены все элементы по наименованиям и номинальной величине.

2. Основываясь на эксплуатационных и точностных требованиях, выбрать метод изготовления ПП.

3. Произвести размещение элементов электрической схемы на ПП по координатной сетке.

4. Произвести конструктивно-технологические расчеты.

5. (Выполнить чертеж печатной платы с учетом всех требований ЕСКД. *Порядок выполнения эскиза*

1. После выбора элементов, зарисовки их формы и габаритов и выбора метода изготовления студенту прежде всего необходимо подготовить аппликации всех элементов в масштабе, выбранном для чертежа (М 2:1 или М4:1).

2. Из ряда типоразмеров плат модулей выбирается наиболее подходящий для данной схемы и вычерчивается на миллиметровке в выбранном масштабе. В том же масштабе на поле платы наносится координатная сетка.

3. После этого силуэты всех элементов помещают по полю чертежа и путем логического анализа в соответствии с электрической принципиальной схемой находят такой вариант размещения, при котором занимаемая площадь минимальна, соединительные проводники наиболее короткие, перемычек нет совсем или не больше одной, двух.

После проверки возможности прохождения проводников в узких местах на эскиз наносятся все соединительные проводники и вычерчиваются в масштабе все контактные площадки.

После проверки соответствия печатного монтажа электрической схеме и установочным размерам элементов приступают к изготовлению чертежей платы и платы в сборе.

#### *Правила выполнения чертежа платы*

Чертеж печатной платы выполняется в соответствии с ЕСКД ГОСТ 2.417 — 91 и рекомендациями, изложенными в разд. «Исходные данные...».

#### *Содержание отчета*

1. Представить разработанный чертеж ПП.

2. Представить конструктивно-технологические расчеты ПП.

3. Представить обоснование выбора технологии изготовления ПП и обоснованность технических требований на ПП.

#### *Приложение 1 Технические требования на чертеж печатной платы*

1. Технические требования по ГОСТ 25752 — 83.

2. Плату изготовить химический методом.

3. Шаг координатной сетки 1,25. Линии координатной сетки нанесены через одну.

4. Минимальное расстояние между двумя проводниками, проводниками и контактной

площадкой 0,8 мм.

5. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа  $\pm 1,0$  мм с учетом обеспечения необходимых зазоров в узких местах.

6. Форма контактной площадки — произвольная; допускается занижение контактной площадки до 0,3.

7. Места, обведенные штрихпунктирной линией и контактными площадками, не занимать.

8. Покрытие проводящего рисунка. Гор. ПОС-61 ГОСТ 21931 — 76.

9. Маркировать номер печатной платы и печатного узла травлением шрифт 2,5 по НО 010.007.

10. Маркировать условные обозначения элементов, номера контактных выводов краской МКЭЧ по ОСТ 4.Г0.014.002, шрифт 3 по НО.010.007.

11. Остальные технические требования по ОСТ 4.Г0.070.014.

12. Размеры для справок.

Приложение 2. Линейные размеры печатных плат, мм

Ширина	Ширина		Ширина		Ширина		Ширина	
	Длина	Длина	Длина	Длина	Длина	Длина	Длина	Длина
10*	10*	45*	80*	110*	200	140*	180*	180*
	15	50	85		240	150		190
	20*	60	90*		280	160*		200*
	30	70	95	110	170*	220		
	40	75	100*	120	180*	240*		
15*	15	80*	110	140*	130	180*	260	
	20	85	120*		135		200*	280*
	25	90	130		140		220	300
	30	170	140		150		240*	320*
	20*	50*	150		110		160	260
20*	25	60*	160*	150	170	200*	360*	
	30*	75	180		180		320	200*
	40*	80*	200		190		360	220
	45	85	240		200		150	240*
	50	90*	85		220		160	260
	60	95	85		120		170	280*
	80	100	95		130		180	300
	30*	60*	100		140*		190	320*
30*	40*	75	90*	150	200	340*		
	45	80*	95	160*	300	360*		
	50	85	100*	170	160	220		
	60*	90*	110	180	170	240		
	80	95	120*	120*	190	180*	260	
	90	100*	90	130	200*	190	220	280
	40*	110	140	220	200	300		
40*	45	120*	150	240*	160*	220	320	
	50*	140	160*	280	240*	340		
	60	160	170	320	260	360		
	75	180	180*	360	280*	240*		
	80*	75	100*	130	300	260		
	100	80	110	140	320*	280*		
	120	85	120*	150	360	300		
	140	90	130	170	170	320*		
	160	75*	95	140*	130	180	340	
		100	150	190	180	360*		
		170	160*	200	190			
			170	260	200			
			180*	135	240	340		
		190						

Примечание: \* — предпочтительные размеры.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированное конструирование печатных плат РЭА: Справ. специалиста/ Под ред. ДП.Рябова.— М.: Радио и связь, 1986. - 192 с.
2. Гедель П.П., Иванов-Есипович А.К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА.— Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
3. ГОСТ 23751 — 86. Платы печатные. Требования и методы конструирования. — К.: Изд. стандартов, 1986.
4. ГОСТ 2.109 — 73. Основные требования к чертежам. - М.: Изд. стандартов, 1983, - 43 с.
5. ГОСТ 2.417 — 91. Правила чертежей печатной платы. - М.: Изд. стандартов, 1979.
6. Елшин И.М. Автоматизированные рабочие места при конструировании РЭА. — М.: Радио и связь, 1983. - 128 с.
7. Лунд П. Прецизионные печатные платы. Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры: Уч. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1985. - 80с.
8. Кузьмин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры РЭА: Уч. лособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1985.-80 с.
9. Морозов К.К., Одинокое ВТ., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций РЭА. — М.: Радио и связь, 1983. - 286 с.
10. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочное пособие. — М.: Радио и связь, 1984. - 156 с.
11. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность/ Под ред. Р.Г.Варламова. — М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.
12. Многослойные печатные платы / Федулова А.А. и др. — М.: Сов. Радио, 1977.-115 с.
13. Цыбина Н.Н., Сватикова А.В. Проектирование радиоэлектронных изделий II структурного уровня: Учебное пособие. —М.: МИРЭА, 1983. -» 115с.

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ВТОРОГО УРОВНЯ

### 4.1. Конструирование цифровых функциональных ячеек и блоков на бескорпусных микросборках

Главной особенностью конструкций цифровых РЭС на бескорпусных микросборках является возможность уменьшения объема в пять раз и массы в три раза по сравнению с конструкциями этого уровня на корпусированных микросхемах. Одновременно повышается и надежность изделий за счет уменьшения числа паяных соединений и увеличения интеграции микросборок. Вместе с тем появляется ряд специфических существенных особенностей и требований к новым конструкциям. Рассмотрим их более подробно.

Значительное уменьшение объема в цифровых ФЯ с одновременным увеличением быстродействия их работы, а следовательно, и увеличением потребляемой мощности приводит к резкому возрастанию тепловой напряженности в них и нарушению нормального теплового режима, что вызывает отказы в работе. Поэтому первой специфической чертой новых конструкций ФЯ цифрового типа является наличие в них мощных и эффективных теплоотводов. Такими теплоотводами являются металлические основания под бескорпусными МСБ и, в частности, металлические рамки. Эти рамки, как правило, выполняют из алюминиевых сплавов АМг, АМц, В95, имеющих высокие значения коэффициентов теплопроводности (160...180 Вт/(мК)). Вторая специфическая особенность этих конструкций заключается в том, что размещаемые на металлических рамках бескорпусные МСБ (порядка восьми и более штук) имеют значительное количество сигнальных входов и выходов, а также шин питания и земли (порядка 24...30 с одной МСБ), что приводит к появлению в конструкции большого числа тонких ( $d=30...50$  мкм) золотых проволочек — соединительных проводников, с одной стороны приваренных (припаянных) к внешним контактным площадкам МСБ, а с другой — к «язычку» металлизированных отверстий печатной платы. При механических воздействиях, несмотря на небольшой прогиб этих проволочек (длина проволочки  $l \leq 100 d$ ), возможны отрывы в местах приварки (пайки), т.е. внезапные отказы в соединениях и сбои во всей ячейке. Кроме того, увеличение интеграции микросборок, а следовательно, и площади самих подложек при постоянстве их толщины, опять-таки создает опасность их растрескивания от ударов и вибраций. Чтобы выполнить требования защиты конструкции от механических резонансов, усталостных напряжений, линейных перегрузок, в конструкциях ячеек IV поколения используют те же металлические рамки, но характерной чертой их профиля является наличие ребер жесткости и окон, а сами МСБ и печатные платы клеят к этим рамкам антивибрационными компаундами типа КТ102 или «Эластосил» для уменьшения коэффициентов динамичности рамок. Наконец, требование уменьшения массы заставляет делать эти рамки более ажурными.

Таким образом, спецификой конструкции ФЯ IV поколения цифрового типа является наличие легких и прочных металлических рамок, гарантирующих достаточный теплоотвод, вибро- и ударопрочность ячеек. Обычно вибро- и ударопрочность обеспечиваются при выполнении допустимых амплитуды колебаний элементов конструкции не более 0,3 мм и виброскорости не более 800 мм/с. Диапазон же частот вибраций широк (от 30...50 Гц до 0,5...5 кГц) при возможных перегрузках до 30...40 единиц. Допустимая удельная мощность рассеяния в ФЯ может достигать величины 60 Вт/дм.

На рис.4.1 показана конструкция металлической рамки, а на рис. 4.2 представлена схема установки и монтажа бескорпусных МСБ на ней.

*Пример.* Рассчитать геометрические размеры рамки, представленной на рис. 4.1. В рамке на ее вертикально расположенных планках размещены восемь МСБ с размерами 24 x 30 x 0,5 мм.

Из расчетов вибропрочности и теплового режима ширина  $A_1$  боковых ребер и верхнего ребра обычно составляет 3 мм, а ширина  $D_2$  внутренних ребер и нижнего ребра 2 мм. Это отличие объясняется еще и тем, что боковые и верхние ребра должны иметь бортик порядка 1...1,5 мм для приклейки печатной платы по периметру ребер снизу. Ширина планки  $A_4$  несколько меньше ширины МСБ и равна 21 мм. Ширина окон  $A_3$  в рамке (между ребрами и планками) выбирается из следующих размеров (см. рис. 4.2):

расстояния от ребра и планки до «язычка» и металлизированного отверстия (слева и справа) равны 2,5 мм, длина «язычка» (для подпайки или приварки проволочного вывода) — 1 мм, диаметр окантовки металлизированного отверстия — 1,2 мм, итого ширина окна  $A_4 = 7,2$  мм. Тогда ширина рамки

$$a = 2A_1 + 3A_2 + 4A_3 + 8A_4 = 2 \cdot 3 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 21 + 8 \cdot 7,2 = 154 \text{ мм.}$$

Для расчета длины рамки примем, что зазоры  $I_1$  между МСБ на планке и между ними и горизонтальными ребрами равны 1,5 мм, ширина окна  $I_2$  для навесных электрорадиоэлементов и ширина зоны  $I_3$  для межъячеечного монтажа — по 10 мм, размеры ребер:  $I_4 = 3$  мм — верхнее ребро и  $I_5 = 2$  мм — среднее и нижнее ребра, уже оговорены. Тогда длина рамки (при длине МСБ  $I = 30$  мм)

$$b = I_4 + 2 \cdot I + 3 \cdot I_1 + 2 \cdot I_2 + 2 \cdot I_3 = 3 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 1,5 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 10 = 91 \text{ мм.}$$

Высота рамки

$$h_p = h_{МСБ} + h_{пл} + h_{ПП} + h_{кл} + h_{звз},$$

где  $h_{МСБ} = 1$  мм — высота МСБ;  $h_{пл} = 0,8$  мм — толщина планки;  $h_{ПП} = 1,5$  мм — толщина печатной платы;  $h_{ПП} = 0,2$  мм — толщина клея;  $h_{звз} = 2,5$  мм — величина суммарного воздушного зазора. Тогда  $h_p = 1 + 0,8 + 1,5 + 0,2 + 2,5 = 6$  мм.

Конструкции цифровых блоков РЭС на бескорпусных микросборках являются конструкциями с большой плотностью упаковки элементов в объеме. Эта величина является одним из главных критериев качества конструкции и может составлять десятки—сотни элементов в кубическом сантиметре для цифровых блоков и устройств. Объясняется это как применением бескорпусных БИС, СБИС, так и малыми значениями коэффициентов дезинтеграции объема.

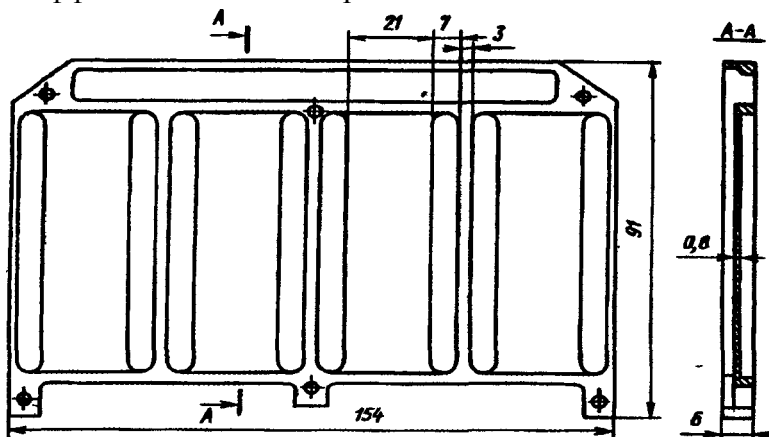


Рис. 4.1. 'Металлическая рамка

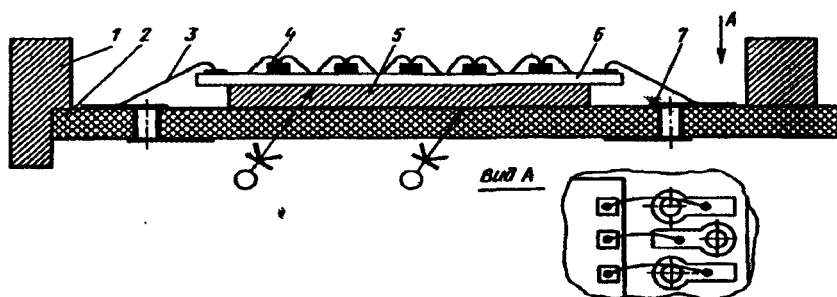


Рис.4.2. Схема установки и монтажа бескорпусных МСБ на металлической рамке: 7 — ребро рамки; 2 — печатная плата; 3 — соединительный проводник; 4 — бескорпусная ИС; 5 — планка; 6 — подложка; 7 — металлизированное отверстие

Первой специфической особенностью разработки конструкций блоков РЭС на бескорпусных микросборках является новизна создания микроэлектронных устройств высокой интеграции. Как правило, такие конструкции выполняют в виде моноблоков, реже — в виде субблоков в общей конструкции контейнеров.

Второй отличительной особенностью конструкций подобного вида является необходимость вакуумноплотной герметизации блоков, поскольку все активные и пассивные схемные элементы в бескорпусных микросборках не защищены от влияния факторов внешней среды, таких как солнечная радиация, фоновые излучения, теплоудары, влага, пониженное давление и др. Внутри вакуумноплотного герметичного корпуса должны существовать инертная среда и некоторое избыточное давление в течение срока службы и хранения. По этой причине стенки корпуса не могут быть выбраны тонкими (0,8...! мм), как это характерно для РЭС III поколения, а чтобы обеспечить требуемую жесткость при перепадах давления, их выполняют из алюминиевых сплавов, например из литейного АЛ9 толщиной не менее 3 мм. Все это значительно снижает выигрыш по массе по сравнению с выигрышем по объему блоков, т.е. только в 34 раза по массе вместо 56 раз по объему.

Третьей особенностью подобных конструкций является проблема тепловых режимов блоков. Как уже отмечалось, при очень высокой плотности упаковки элементов в объеме в них создается значительная тепловая напряженность, способная привести к увеличению частоты отказов в аппарате. Все это требует увеличения эффективности способов теплопередачи конвекцией, лучеиспусканием и теплопроводностью. Если на уровне ФЯ в основном теплопередача определяется теплопроводностью и с этой целью конструируются теплопередающие рамки, то для блоков, имеющих собственные герметичные корпуса, основными видами теплопередачи служат конвекция и лучеиспускание, а в условиях невесомости — только лучеиспускание. Поэтому здесь значительная проработка конструкции должна вестись в направлении выбора оптимальной формы блока, для которой отношение поверхности теплоотдачи к объему было бы максимально возможным при сохранении и выполнении всех остальных требований на вибропрочность, технологичность, электромагнитную совместимость и др., накладываемых техническим заданием на конструирование.

Четвертой особенностью разработки конструкций блоков IV поколения можно считать проблему выбора внутриблочных электрических соединений. Как правило, блоки на бескорпусных МСБ имеют книжную конструкцию, в которой не применяются разъемные соединители и проволочножгутовой или печатный монтаж на жестких основаниях. Для них наиболее характерным являются гибкие шлейфы, гибкие кабели, в том числе и радиочастотные миниатюрные типа РК50-0,6-25 с внешним диаметром 1,0 мм, а также гибкие матрицы-ремни. От выбора варианта внутриблочного монтажа зависит требуемый внутренний объем блока, надежность «переплета» книжной конструкции, способ закрепления гибких шлейфов и их монтажа (пайкой, сваркой, с накладками или без них и др.). Замена жесткой объединительной печатной платы на гибкую печатную плату и ее размещение, способы ее соединения с ячейками и межблочными разъемами являются также непростыми задачами конструирования.

Наконец, пятой особенностью разработки конструкций блоков IV поколения является выбор формы и метода изготовления корпуса блока. Отметим, что одна из стенок блока (лицевая панель), на которой устанавливаются выводные межблочные соединители, трубка-штенгель, заземляющий винт, должна иметь толщину не менее 5...6 мм, в то время как остальные — 3 мм. Сам корпус, в котором устанавливается пакет ячеек (обычно на шесть бобышек цилиндрической формы), должен представлять собой без верхней крышки короб прямоугольной формы. Материал корпуса, как и ФЯ, должен быть легким. Поэтому выбирают чаще всего алюминиевые сплавы, легко поддающиеся механической обработке и сварке. Кроме того, при применении паяного шва корпус должен иметь покрытие для пайки. С учетом перечисленных выше требований можно дать следующие рекомендации:

- > лицевую панель следует изготавливать отдельно от корпуса и приваривать ее по шву в процессе сборки;
- > из многих марок легких алюминиевых сплавов (Д16АМ, Д16АТ, В95, АМг, АМц, АЛ9, АЛ2, АЛ11) наиболее подходящими для шовной сварки являются марки АМг, АМц, АЛ9;
- > сделать корпус с толщиной стенок 3 мм из листового материала (АМг, АМц, Д16, В95)

методами штамповки-вытяжки при глубине вытяжки порядка 80 мм весьма затруднительно, так как это требует многократной вытяжки и прессы большой мощности, поэтому корпус рекомендуют изготавливать литьем в оболочковые формы из материалов АЛ2, АЛ9, АЛ11 (сплавы алюминиевые литейные ГОСТ 2685 — 63) с последующей фрезеровкой поверхности, требующей более высокой частоты обработки;

> места последующих паяк (паяный шов, буртик в лицевой панели для пайки печатной вставки разъемов РПС или отверстий для высокочастотных разъемов СР50, земляного винта, трубки-штенгеля) рекомендуется покрывать Н5.М12.0-Ви9 (гальваническое покрытие «никель 5 мкм — медь 12 мкм — олово — висмут 9 мкм»).

Наиболее характерными компоновочными схемами цифровых ФЯ на бескорпусных микросборках являются односторонняя и двухсторонняя на металлической рамке и двухсторонняя на П-образном металлическом основании, а для блоков — книжная компоновочная схема.

Конструкция односторонней ФЯ показана на рис. 4.3. Она выполнена на алюминиевой рамке, показанной на рис. 4.1, на продольных планках которой приклеены клеем «Эластосил 11-02» бескорпусные МСБ. С обратной стороны рамки приклеена односторонняя печатная плата из стеклотекстолита СФ — 1 — 35 — 1,0 клеем КВК— 68. Монтаж бескорпусных МСБ с печатной платой осуществляется проволочными проводниками из золота Зл999 диаметром 0,03 мм и длиной не более 3 мм. В верхней части ячейки расположено «окно» рамки для установки дискретных ЭРЭ, а в нижней части — зона выводных контактных площадок под гибкий шлейф или матрицу-ремень. В рамке имеется 4...6 сквозных отверстий для стяжных винтов М3 для сборки ячеек в пакет. Длина винтов выбирается в зависимости от высоты пакета, т.е. числа собираемых ячеек. Если в рамке планки выполняются в едином технологическом процессе литья с последующей фрезеровкой, то рамка имеет защитное покрытие Ан-Окс.хр. (анодизационное оксидирование с хромотацией). Если планки припаивают к рамке, то применяют гальванопокрытие Н5.М12.0-Ви 9 или химическое покрытие 0-ВиЗ.

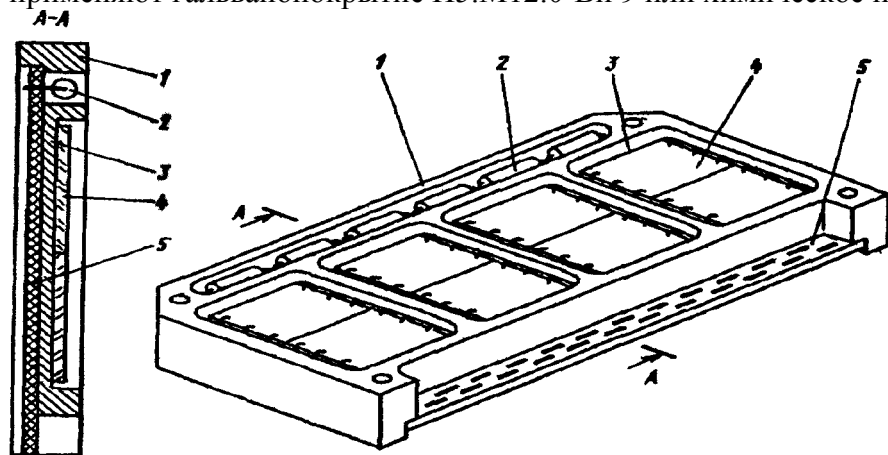


Рис. 4.3. Конструкция односторонней ФЯ на металлической рамке: 1 — рамка; 2 — навесной ЭРЭ; 3 — планка; 4 — микросборка; 5 — печатная плата

Конструкция двухсторонней ФЯ на металлической рамке представлена на рис. 4.4. Ее отличие от рассмотренной ячейки состоит в том, что в ней отсутствует общая объединительная плата, а монтаж и крепление бескорпусных МСБ проводится с двух сторон на одну широкую продольную планку с минимальными зазорами между стыкуемыми МСБ. В верхней и нижней частях ячейки приклеивают печатные вставки с контактными площадками для выводов МСБ, их соединения между собой по схеме и соединения с гибкими шлейфами (в нижней вставке) Монтаж между нижней и верхней вставками проводят микропроволочными жгутами из провода ГФ — 100М по 10...16 проводов в каждом жгуте. Жгуты вяжут обычным ручным способом и укладывают в канавки между ребрами жесткости и дополнительными выступами на планке с левого и

правого краев рамки.

Крепление жгутов осуществляют клеем-мастикой ЛН. Применение таких конструкций рекомендуют для мелкосерийного производства, так как вязка жгутов плохо поддается автоматизации.

Конструкция двухсторонней ФЯ на металлическом основании представлена на рис. 4.5. Эта конструкция разработана для цифровых РЭС с повышенной плотностью упаковки, поэтому в ней имеется приваренный сверху ячейки воздухопровод коробчатого типа с входным и выходным отверстиями для циркуляции воздуха-охладителя через все ячейки в пакете. Металлическое П-образное основание выполнено из алюминиевого сплава АМг5 методом штамповки — вырубки с последующей гибкой. Толщина листа 0,5...0,8 мм. После гибки между левой и правой частями П-образного основания вставляют многослойную печатную плату из материала ФДМЭ (фольгированного диэлектрика из стеклоткани марки Э) или его заменителей толщиной 3...5 мм и приклеивают ее к основанию. Получается довольно жесткая конструкция, не требующая дополнительных ребер жесткости. На получаемые вырубкой в пластине планки клеют бескорпусные МСБ с двух сторон ячейки, а их монтаж с многослойной печатной платой ведут в «окнах». Для сборки ячеек в книжной конструкции используют шарнирные соединения, собираемые между собой заклепками. К достоинству конструкции относится технологичность изготовления основания ячейки.

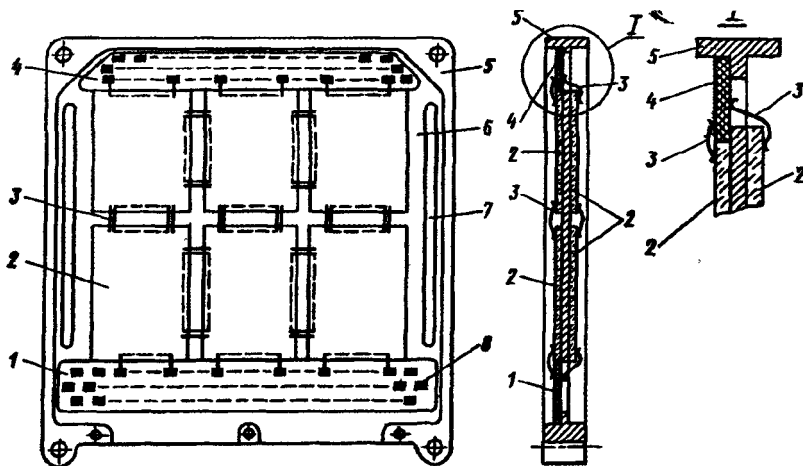


Рис. 4.4. Конструкция двухсторонней ФЯ на металлической рамке:

1 — нижняя печатная вставка; 2 — микросборка; 3 — соединительный проводник; 4 — верхняя печатная вставка; 5 — рамка; 6 — планка; 7 — выступ; 8 — контактная площадка

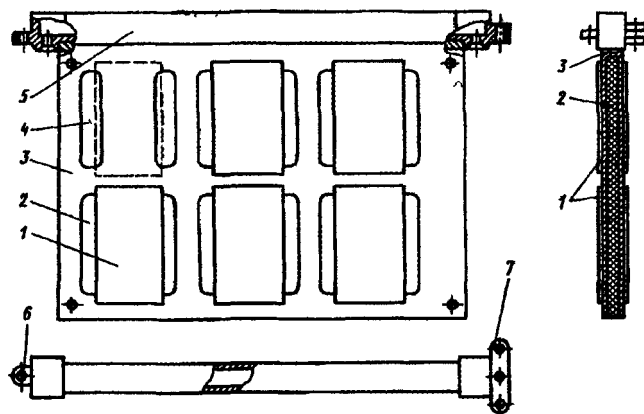


Рис. 4.5. Конструкция двухсторонней ФЯ на металлическом П-образном основании: 7 — микросборка; 2 — многослойная печатная плата; 3 — основание; 4 — окно для выводов; 5 — воздухопровод; 6,7 — шарнирные соединения

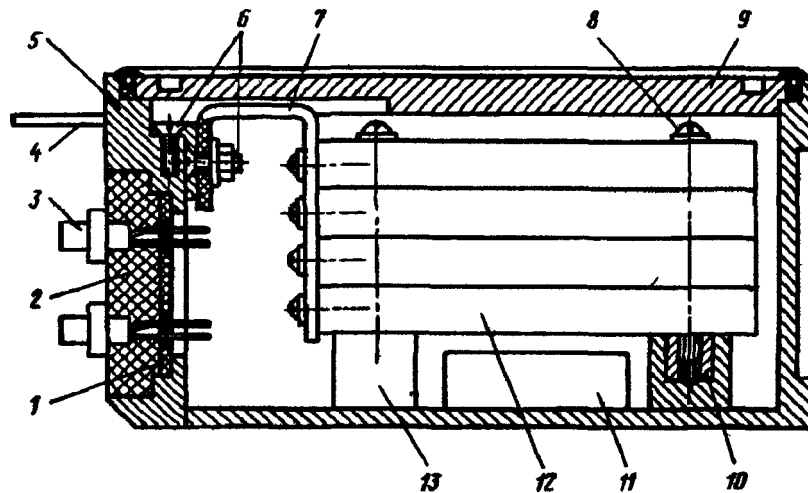


Рис. 4.6. Конструкция блока книжной компоновки :

1 - печатная вставка; 2 - заливочный компаунд; 3 - разъем РПС1; 4 - штенгель-трубка; 5 - передняя стенка; 6 - винты крепления; 7 - матрица-ремень; 8 - стяжной винт; 9 - крышка; 10 - титановая втулка; 11 - блок питания; 12 - функциональная ячейка; 13 — бобышка

Конструкция цифрового блока книжной компоновки представлена на рис. 4.6. Основными сборочными единицами конструкции являются корпус блока, передняя панель с межблочными соединителями и трубкой-штенгелем, крышка, пакет ячеек, установленный на бобышках корпуса, матрица-ремень и децентрализованный блок питания.

Корпус блока выполнен из литейного алюминия АЛ9 с толщиной стенок 3 мм литьем в оболочковые формы с последующей механообработкой. Бобышки изготавливаются при литье, их высота должна быть не менее 1,5—2 диаметров винта для стягивания ячеек в пакет. Для резьбового соединения винта с телом бобышки в нее запрессовывается титановая втулка с внутренней резьбой под винт. Пакет ФЯ на металлических рамках стягивается винтами, а электрические соединения ячеек с выходными межблочными разъемами типа РПС1 или РСГ осуществляются жгутовым проволочным монтажом, укрепленным в матрице-ремне. Матрица-ремень (рис. 4 7 а) представляет собой сформованную вулканизированную резину с отверстиями диаметром 1,5...2 мм и шагом между ними 2,5 или 5 мм. Через отверстия прошивают жгуты из 10... 16 проводников провода ГФ-ЮОМ. Ширина ремня определяется шириной зоны коммутации выходных контактных площадок ячейки, а его толщина равна 3...5 мм. Матрица-ремень крепится к внутренней стенке передней панели с помощью металлического уголка винтами, а к ячейкам — винтами в их торцах.

Для вакуумно-плотной герметизации с величиной истечения газа из внутреннего объема блока, равной  $6,65 \cdot 10^{-6}$  (дм<sup>3</sup> Па)/с ( $5 \cdot 10^{-5}$  дм<sup>3</sup> мкм рт.ст./с), верхняя крышка блока запаивается по способу паяного шва, межблочные разъемы опаиваются и заливаются компаундом, а трубка-пггенгель после откачки воздуха и заполнения внутреннего объема инертным газом также запаивается. Паяный шов (рис. 4.8 а) выполняют следующим образом: в зазор между крышкой и стенками корпуса и передней панелью укладывают прокладку из нагревостойкой бессернистой резины марки ИРП, далее на нее кладут стальную проволоку диаметром 0,8 мм и весь шов запаивают по периметру пропоем ПОС-61.

Конец проволоки выводят в канавку стенки рядом с зазором, оставляя его незапаянным. Это нужно для того, чтобы при ремонте блока можно было вырвать из паяного шва проволоку за этот конец и удалить крышку. Ширина зазора составляет 1,2 мм прокладки, а ширина и толщина прокладки — 1,4 мм. Прокладка центрирует крышку при пайке и не позволяет проникать вредным примесям припоя в флюса внутрь корпуса. При такой небольшой величине зазора повторное выполнение паяного шва после ремонта

возможно не более двух-трех раз, так как на стенках остаются наросты припоя, которые трудно удалять. Для пайки алюминиевых деталей необходимо их покрытие перед пайкой. Таким покрытием является уже упоминавшееся гальванопокрытие H5.M12.0 — Ви9, которым покрывают места пайки на корпусе и передней стенке.

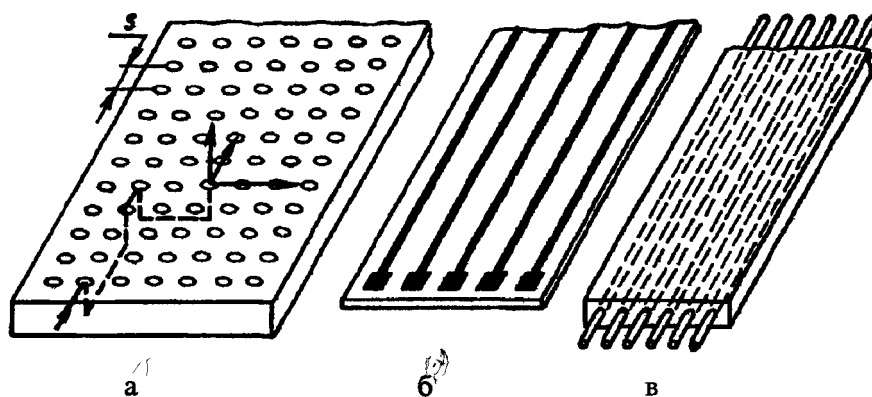


Рис. 4.7. Внутриблочные соединители а — матрица-ремень; б — гибкий шлейф; в — гибкий кабель

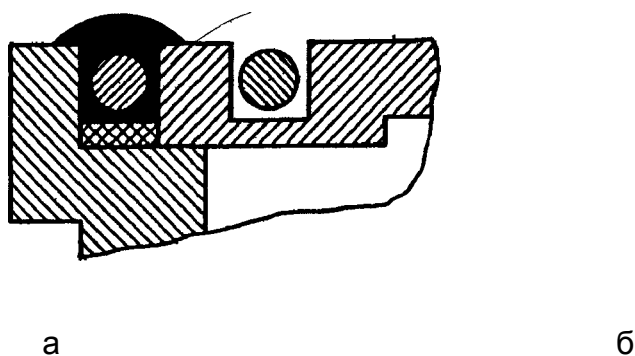


Рис. 4.8. Герметизация блока IV поколения: а — паяным швом; б — заливкой и опайкой

Герметизацию межблочных соединителей (рис. 4.8 б) проводят следующим образом: разъем закрепляют на печатной вставке продеванием его выводов через металлизированные отверстия, затем их опаяют, далее вставку припаивают к стенке передней панели по периметру вставки, на краях которой оставлен залуженный фольговый кант, после чего свободный объем в передней панели заливают компаундом, например, ЭЗК (эпоксидным заливочным компаундом). Трубку-штенгель запрессовывают в переднюю панель, опаяют по контуру цилиндра, затем откачивают воздух, проверяют на герметичность, накачивают сухой азот до избыточного давления 1,3 атм, обжимают, откусывают и запаивают. При такой конструкции трубки для двух, трех повторных ремонтов ее длина должна быть не менее 40 мм. Материал трубки — медь МТ, наружный диаметр — 3 мм.

Поскольку внутриблочные соединения в виде матрицы-ремня занимают до 15...20% объема блока, в настоящее время их выполняют гибкими шлейфами в виде полосок из гибких фольгированных диэлектриков на основе лавсана (ФДЛ) или полиимида (ФДИ) толщиной 200...300 мкм с печатными прямолинейными проводниками и контактными площадками, а также гибкими кабелями (рис. 4.7 в). Это позволяет уменьшить объем, занимаемый внутриблочными соединениями, в два раза по сравнению с матрицей-ремнем, однако жесткость «переплета» книги ухудшается.

#### 4.2. Конструирование аналоговых субблоков и блоков РЭС



Специфическими особенностями конструкций субблоков аналогового типа, в частности приемно-усилительных трактов (субблоков УВЧ, УПЧ, УНЧ), являются удлиненная форма субблоков, ее планарность и наличие тонкостенных экранов между самими узлами и экранов самих субблоков. При весьма малых по величине сигналах на входе УВЧ (порядка  $10^{-6}$  В) и требуемой величине на выходе УНЧ (десятые доли вольта) необходимо иметь усиление всех трактов свыше 100 дБ, а только в одном УПЧ — порядка 60 и более децибел, что трудно обеспечить на одной промежуточной частоте в малом замкнутом объеме субблока. Поэтому применяют двойное преобразование частоты, располагают каскады в линию и вводят экраны, развязывающие фильтры между ними.

В любом из перечисленных субблоков должны быть частотно-избирательные узлы, селектирующие сигналы, область применения которых поясняет рис. 4.9. В качестве таких узлов на УВЧ и УПЧ могут использоваться катушки индуктивности (пленочные, каркасные, тороидальные), фильтры упругих и поверхностных волн на пьезоэлектриках, полосовые фильтры на операционных усилителях (активные КС фильтры) и др. Катушки индуктивности пленочного типа имеют малый диапазон индуктивности (от 1 до 10 мкГ) и малую добротность (не более 20);

тороидальные катушки могут быть малогабаритными и малой высоты (не более 2...3 мм), однако использование в них ферритов с большой магнитной проницаемостью приводит к значительной температурной нестабильности этой величины, а далее и к нестабильности самой индуктивности и частоты настройки. Каркасные же катушки индуктивности в виде цилиндров с намотанной обмоткой по своим электрическим параметрам не могут иметь конструктивную высоту катушки менее 8...10 мм. Эта высота резко снижает качественные показатели по объему и массе (растут коэффициенты дезинтеграции), и конструкция становится не планарной, а объемной. Наиболее совместимыми по высоте являются фильтры ПАВ и интегральные кварцевые фильтры ( $h_k = 3 \dots 4$  мм), которые могут быть размещены в тех же корпусах, что и корпусированные ИС либо скомпонованы в одном корпусе-экране с бескорпусными аналоговыми МСБ, на подложках которых часто размещают навесные конденсаторы серии К10, которые сами имеют высоту 0,6...2,5 мм. Выполнение всех этих требований в конструкциях аналоговых субблоков приводит почти однозначно к пенальной форме субблоков.

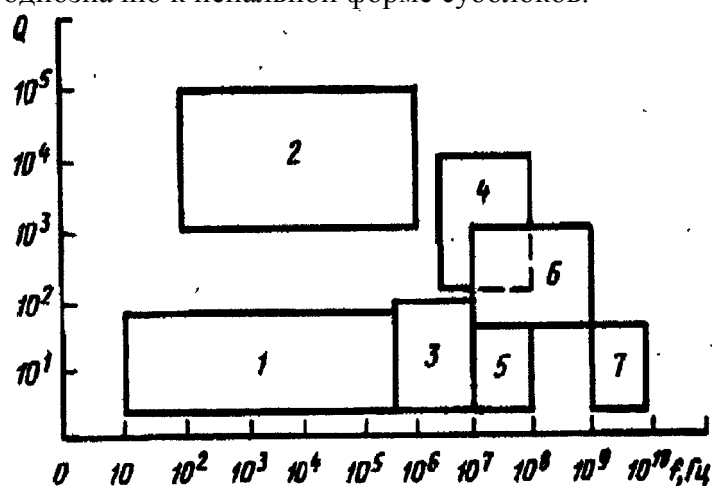
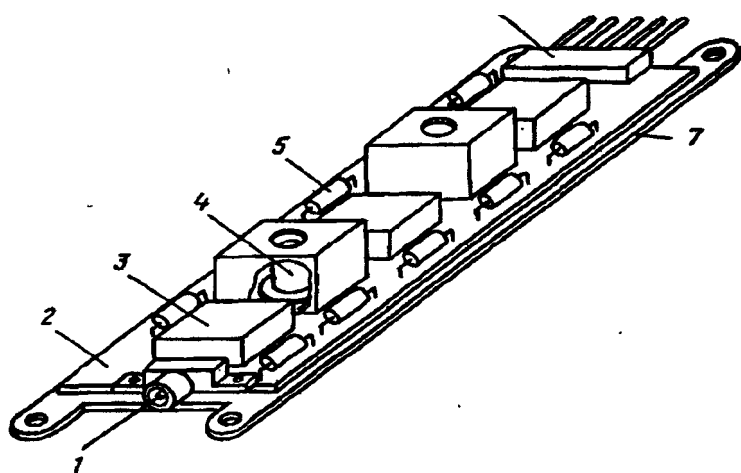


Рис. 4.9. Области применения частотноизбирательных узлов: 1 — активные R-С-фильтры; 2 — цифровые фильтры; 3 — каркасные катушки индуктивности; 4 — интегральные пьезофильтры; 5 — пленочные катушки индуктивности; 6 — фильтры на поверхностных акустических волнах; 7 — микрополосковые фильтры

Конструктивно аналоговые субблоки III поколения выполняют на печатных платах удлиненной формы с установленными на них корпусированными ИС, обрамляющими

их навесными ЭРЭ и частотноизбирательными узлами (каркасными или тороидальными катушками индуктивности, корпусированными пьезофильтрами и т.п.). После сборки и пайки ИС и радиокомпонентов на печатной плате субблок обычно покрывают полиуретановым лаком УР — 231, который имеет небольшую диэлектрическую проницаемость (порядка 2,5), и поэтому не вносит значительных дополнений в паразитные емкости между проводниками. Являясь гидрофобным покрытием, он защищает поверхность субблока от проникновения влаги с  $s=80$ , тем самым устраняя не только гидролизные процессы между проводниками, но и защищая субблок от самовозбуждения. В табл. 4.1 приведены наиболее часто встречающиеся в конструкциях аналоговых субблоков корпуса ИС, их геометрические размеры, а также назначение и серии ИС, монтируемых в них. На рис. 4.10 показана условная конструкция субблока III поколения.



6

Рис. 4.10. Конструкция шалогофого субблока III поколения:

1 — радиочастотный соединитель; 2 — печатная плата; 3 — корпусированная ИС; 4 — каркасная катушка индуктивности с экраном; 5 — навесной ЭРЭ; 6 — низкочастотный соединитель; 7 — основание

Конструкции аналоговых субблоков на бескорпусных микросборках выполняют обычно в виде металлических пеналов, герметизируемых либо по торцам, либо по верхней крышке. Сами МСБ приклеивают на металлическое основание, а монтаж между ними осуществляют либо по принципу «непрерывной микросхемы», либо с помощью печатных вставок между ними и корпусом, на которых устанавливают также навесные ЭРЭ, которые нельзя выполнить в пленочном исполнении. Соединения с другими субблоками осуществляют радиочастотными соединениями типа СР50 и радиочастотными кабелями РК50 или РК75. Низкочастотные цепи питания часто осуществляют через индивидуальные соединители типа «слезка». Нарис. 4.11 показана конструкция аналогового субблока, скомпонованного по «непрерывной микросхеме», а на рис. 5.12 — с использованием фильтра ДАВ.

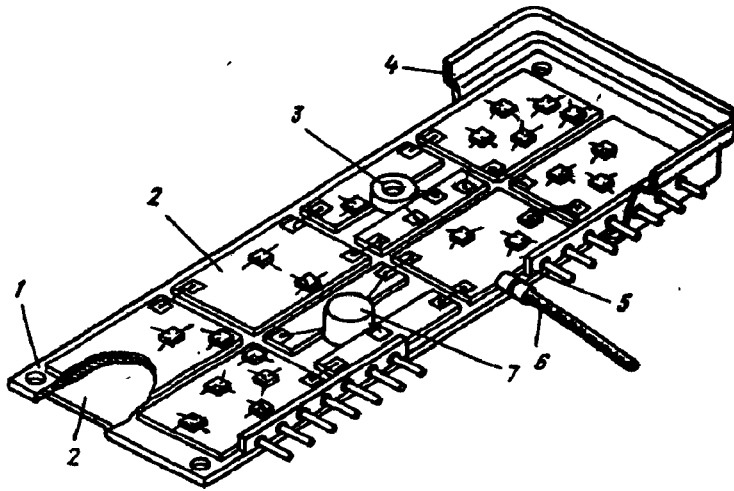


Рис. 4.11. Конструкция аналогового субблока IV поколения по «непрерывной микросхеме»:

1 — металлическое основание; 2 —искросборка; 3 — тороидальная катушка индуктивности; 4 — корпус-экран; 5 — соединитель; 6 — радиочастотный кабель; 7— конденсатор

Компоновка аналоговых блоков РЭС зависит прежде всего от их назначения в составе конкретного радиоизделия. Они могут дополнять первые каскады СВЧ-устройств, могут быть самостоятельными первыми каскадами в обычных радиовещательных и телевизионных приемниках, могут объединяться и с последующими цифровыми блоками обработки информации. Поэтому говорить о какой-либо унификации конструктивных решений аналоговых блоков РЭС не приходится. Как для блоков III поколения, так и для блоков IV поколения существуют те же самые приемы общего корпусирования, герметизации и защиты от факторов внешней среды, что и для цифровых блоков. На рис. 4.13 показана этажерочная конструкция блока приемопередающего устройства, выполненная на бескорпусных МСБ.

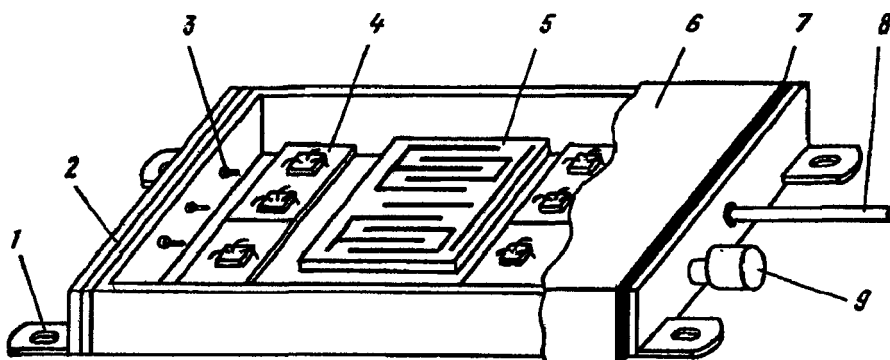


Рис. 4 12. Конструкция аналогового субблока IV поколения с фильтрами ПАВ:

1 — лапка крепления, 2 — каркас-основание; 3 — гермоввод «слезка»,  
4 — микросборка, 5 — фильтр ПАВ; 6 — кожух-экран; 7 — паяный шов; 8 — трубка-шгенгель; 9 — высокочастотный разъем с полиэтиленовой заглушкой

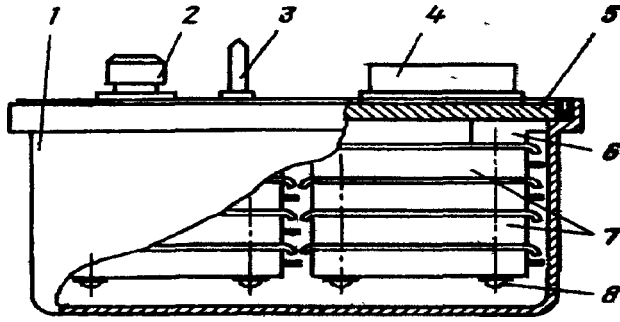


Рис.4.13. Этажерочная конструкция блока приемопередающего устройства IV поколения: 1 — кожух; 2 — высокочастотный разъем с полиэтиленовой заглушкой, 3 — трубка-шгенгель; 4 — низкочастотный разъем; 5 — крышка-основание; 6 — бобышка; 7 — субблоки; 8 — стяжной винт

Таблица 4.1

Тип корпуса	Серии ИС	Функциональное назначение	Размер ИС, мм		Высота корпуса	Масса, г	Число задействованных выводов	Шаг установки, мм	
			по оси X	по оси Y				по оси X	по оси Y
301.8 - 2 3101.8 - 2	140	Операционные усилители (ОУ); аналоговые перемножители	Ø 9,5		4,8	1,6	8	12,5	12,5
301.12 - 1 3102.12 - 1	140 171 529	ОУ и аналоговые перемножители; широкополосные усилители; активные RC фильтры	Ø 9,5		4,8	1,6	10 12	15,0 17,5	17,5
201.146 2102.166	526	УПЧ с детектором	19,5	6,8	5	1,1	9 12 14	22,5 25,0 27,5	15,0 17,5 17,5
238.16 2 2103.16 2	174 544	Аналоговые перемножители; логарифмические усилители; УПЧ; синтезаторы частот; генераторы; ФАП; операционные усилители	21,5	6,8	5	1,2 ...2	12 14 16	25,0 27,5 30,0	17,5 17,5 20,0
238.18 3 2104.18 3	174	Многофункциональные схемы	24,5	6,8	3,5	1,5	14 16 18	27,5 30,0 32,0	17,5 20,0 20,0
401.14 3 4102.14 3	175 93	Детекторы, аналоговые перемножители, дифференциальные усилители	9,8	6,5	3,5	0,35 ... 0,9	10 12 14	12,5 15,0 15,0	15,0 17,5 20,0

Микросборки микрополосковых узлов (предварительного усилителя, умножителя, усилителя мощности, смесителя, малошумящего усилителя, переключателя, фазовращателя) выполнены на поликорových подложках толщиной 0,5 мм, металлизированных с обратной стороны. Весьма важными задачами при конструировании модуля являются выбор способа закрепления подложек на несущем основании и вопросы стыковки МСБ по высоте, зазору и сопряжению по ширине микрополосковых линий, а также вопросы экранирования модуля.

Выбор поликора в качестве материала подложек объясняется следующими причинами: поликор является высокочастотным материалом и имеет малые диэлектрические потери ( $\text{tg}\delta=10^{-4}$ ); достаточно высокое значение диэлектрической постоянной ( $\epsilon = 9,6$ ) позволяет уменьшить геометрические размеры микрополосковых линий, которые обычно равны либо  $0,5 \lambda_d$ , либо  $0,25 \lambda_d$ , где  $\lambda_d = \lambda / \sqrt{\epsilon}$  — Длина волны в свободном пространстве; поликор обладает теплопроводностью в 25 раз выше, чем ситалл, что особенно важно в передающих трактах СВЧ. Микрополосковая несимметричная линия образуется между верхним проводником и обратной металлизированной поверхностью подложки. Чем выше чистота поверхности подложек (двухсторонняя полировка) и чем больше микрополосковых переходов соединено сваркой, а не пайкой, тем меньше потери. Поэтому наиболее надежным способом крепления подложек к несущему основанию остается пайка легкоплавкими припоями (ПОИп52, сплавы Розе и Вуда). Иногда применяют клейку МСБ электропроводящими клеями («Контактол») и смазку ЭЧЭС для приклейки самих транзисторов СВЧ, которые, однако, ухудшают условия теплопередачи мощности на корпус, хотя и обеспечивают «общую землю» и лучшую ремонтпригодность.

Существует еще и третий способ крепления — прижимы подложек к основанию фторопластовыми винтами. В любом случае поверхность контактирования подложек и корпуса должна иметь электропроводное и легкоплавкое покрытие. Такими покрытиями являются Н5 М12.0-Ви9, Хим 0-Ви3 и ряд гальванопокрытий с серебром и оловом. В модулях СВЧ передающего типа, т.е. с мощными транзисторами, транзисторы припаивают непосредственно к контактам эмиттера, базы и коллектора, размещенным на брокеритовой вставке в виде таблетки, поскольку брокерит-9 имеет теплопроводность, близкую к теплопроводности металлов (рис.4.15).

#### *4.3. Конструирование СВЧ-модулей*

Спецификой конструкций объемных модулей СВЧ является принцип «непрерывной микросхемы» на микрополосковых линиях, у которых общая металлизированная поверхность обратных сторон подложек должна быть близка к идеальной («непрерывность общей земли»). На рис. 5.14 показана конструкция модуля СВЧ, входящего в общую конструкцию активной фазированной антенной решетки, т.е. представляющего собой миниатюрный приемопередатчик с фазовым электронным управлением (сканированием) диаграммы направленности.

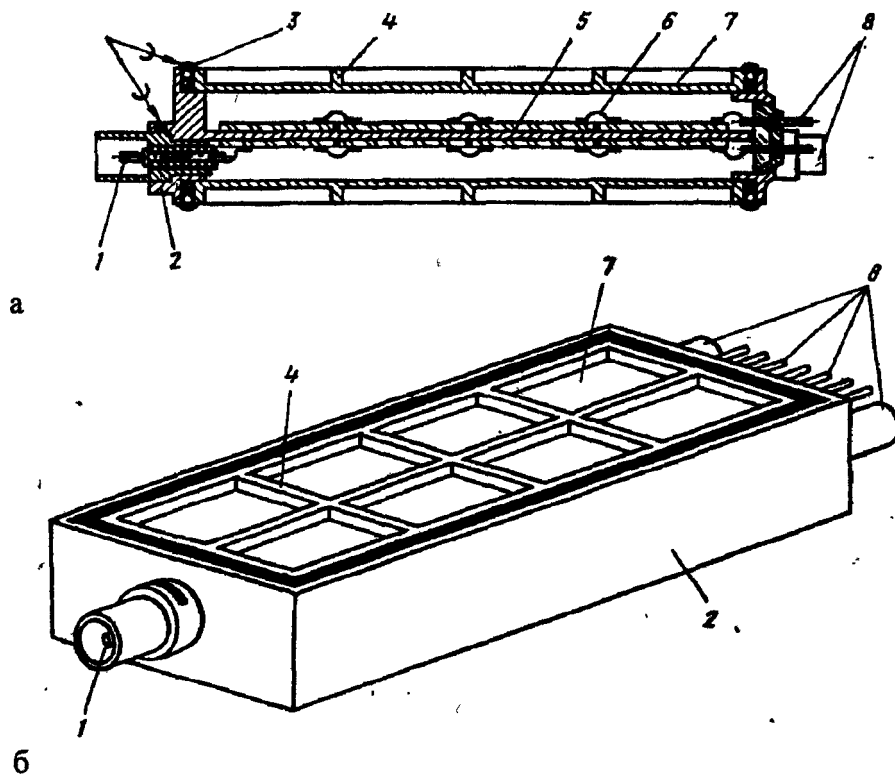


Рис. 4.14. Конструкция модуля СВЧ: а — разрез конструкции; б — изометрия конструкции; 1 — высокочастотный разъем; 2 — каркас-основание; 3 — паяный шов; 4 — ребро крышки; 5 — планка каркаса; 6 — соединительная перемычка; 7 — крышка; 8 — комбинированный разъем

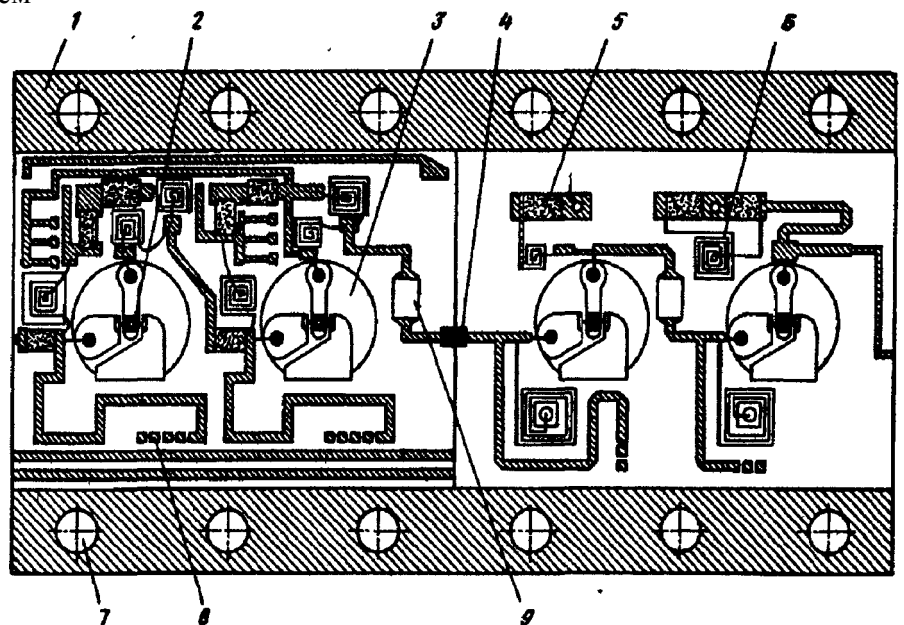


Рис. 4.15. Конструкция передающего СВЧ-модуля: 1 — металлическое основание, 2 — мощный СВЧ-транзистор; 3 — брокеритовая вставка (шайба); 4 — фольговая перемычка; 5 — конденсатор; 6 — пленочная катушка индуктивности, 7 — отверстие для крепления; 8 — шлейф для подстройки; 9 — навесной ЭРЭ

Вопросы стыковки микрополосковых узлов приобретают все большее значение с увеличением рабочих частот в гигагерцовом диапазоне. Чем качественнее и точнее обеспечивается совмещение микрополосковых линий в зазоре  $l$ , в плане АW по высоте  $\Delta h$  (рис. 4.16 а,б,в), тем меньше возникает паразитных отражений волн в линии, тем меньше коэффициент стоячей волны  $K$  по напряжению и тем выше коэффициент передачи мощности при одинаковом волновом сопротивлении  $Z_B$  микрополосковой линии. Так, в сантиметровом диапазоне волн геометрическая стыковка МСБ должна обеспечиваться с точностью  $\pm 100$  мкм, а в миллиметровом  $\pm 50$  мкм (рис. 4.16).

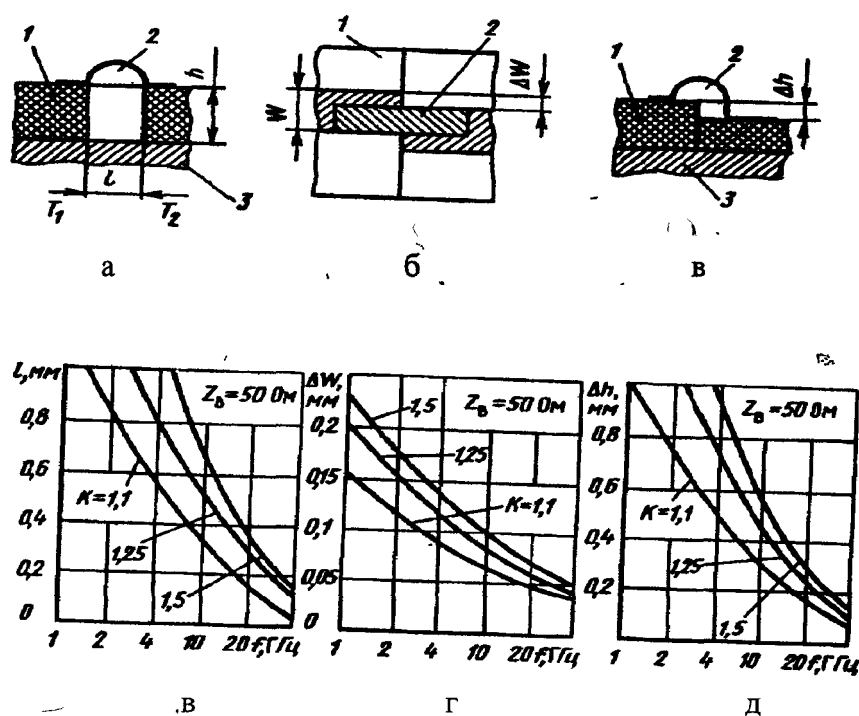


Рис 4 16. Причины и погрешности геометрической стыковки в микросборках СВЧ при зазоре между ними (а, з), при ошибке совмещения МСБ в плане (б, д) и по высоте (в,е); 1 — микросборка; 2 — соединительная перемычка; 3 — основание-поддон

#### 4.4. Влияние объема и формы блоков РЭС на показатели качества конструкции

В зависимости от назначения, уровня интеграции и объекта установки объем и форма блоков РЭС могут быть различными: объем обычно меняется от одной десятой до нескольких десятков кубических дециметров, а форма может быть плоской, кубической, прямоугольной или цилиндрической.

От этих двух параметров конструкций блоков в сильной степени зависят такие показатели качества, как допустимая удельная мощность рассеяния (тепловая напряженность) и вибропрочность, во многом определяемая собственной частотой конструкции. Как качественно влияют первые на вторые, известно каждому конструктору: конструктив с меньшим объемом допускает большую тепловую напряженность, чем конструктив с большим объемом; конструктив более плоской формы способен выдержать большую мощность рассеяния, чем куб при равенстве объемов, а показатели вибропрочности при этом будут намного хуже. Это, казалось бы, можно подтвердить и с помощью формул. Например, удельная мощность рассеяния  $P_{уд\text{ рас}} = P_{\text{рас}}/V$  должна зависеть обратно пропорционально от объема, и поэтому если кристалл ИС с объемом в  $1 \text{ мм}^3$  способен рассеивать  $40 \text{ мВт}$ , т.е.  $P_{уд\text{ рас}} = 40 \cdot 10^3 \text{ Вт/дм}^3$ , то блок РЭС, имеющий объем  $1 \text{ дм}^3$  т.е. в  $10^6$  раз больший, должен иметь допустимую тепловую напряженность всего  $0,04 \text{ Вт/дм}^3$ . Результаты же эксперимента, приведенные в работе, дают значение этой величины  $10 \text{ Вт/дм}^3$ , т.е. в 250 раз больше. Значит, формальный

расчет по указанной формуле нереален, ошибочен.

Поэтому для конкретных конструкторских разработок необходимо иметь более строгие количественные оценки этого влияния, учитывающие все факторы, в том числе и форму блоков.

Оценим влияние объема блока на удельную мощность рассеяния, считая для простоты выводов форму блока со стороной  $a_6$  кубической. Изменение стороны куба в  $k_1$  раз приведет к изменению его объема в  $k_1^3$  раз. Поскольку площадь поверхности куба  $S = 6a_6^2$ , а объем  $V = a_6^3$ , то удельная мощность рассеяния

$$P_{уд\ расc} = (\alpha_k + \alpha_n) \Delta t \frac{S}{V} = (\alpha_k + \alpha_n) \Delta t \frac{6}{a_6},$$

где  $\alpha_k, \alpha_n$  — коэффициенты теплопередачи конвекцией и лучеиспусканием от блока в среду;  $\Delta t$  — перегрев корпуса блока. Если принять какой-либо объем блока за  $V_0 = a_6^3$  номинальный, например, и по отношению к нему оценить изменение (вариацию) удельной мощности рассеяния  $B_p$  при изменении (вариации) объема  $V_v$  ( $vk_1^3$  раз) для 1-го варианта, то такая оценка может быть проведена по следующей формуле:

$$B_p = \frac{(\alpha_k + \alpha_n)_i \Delta t 6 a_{6_0}}{(\alpha_k + \alpha_n)_0 \Delta t 6 a_{6_i}} = \frac{(\alpha_k + \alpha_n)_i a_{6_0}}{(\alpha_k + \alpha_n)_0 a_{6_i}} = \frac{(\alpha_k + \alpha_n)_i}{(\alpha_k + \alpha_n)_0 k_1},$$

где  $a_6, a_{6_0} = K_1 a_6$  — стороны куба для номинального объема и  $i$ -го варианта.

С изменением стороны куба (определяющего размера) коэффициент лучеиспускания не меняется; коэффициент конвекции для загона степени 1/4, как показывают расчеты, меняется незначительно (5...10%), а для закона степени 1/3 не меняется. Поэтому предыдущее выражение можно записать в виде  $B_p = 1/k$ . Зависимость  $B_p = f(V_v)$ , где  $V_v = V_1/V_0 = vk_1^3$ , построенная по точкам, представлена рис.4.17. Из графика видно, что при изменении объема в 10 раз в сторону увеличения или уменьшения удельная мощность рассеяния, в том числе и допустимая, изменяется лишь в два раза (а не в 10 раз) в обратную сторону. Этим и объясняется ошибка в оценке возможных изменений допустимой тепловой напряженности по общей формуле, так как главным фактором является не сам объем, а отношение площади теплопередачи к объему, т.е  $S/V$ . Поэтому для практических расчетов на рис. 4.18 приведена зависимость этого отношения от объемов блоков РЭС.

Оценим количественное влияние формы блока на удельную мощность рассеяния. Для этого кубическую форму блока будем либо «вытягивать» в столбик, либо «сжимать» в более плоскую (планарную) пластину. Второй случай на практике более реален, причем пластина может иметь как квадратную, так и прямоугольную формы. Для простоты выводов выберем квадратную форму плоского блока — панель. Введем понятие коэффициента

планарности, отражающего степень плоскости конструкции, как  $k_2 = a_6/h'$ , где  $a_6$  — сторона куба;  $h'$  — высота панели (рис. 4.19). При этом объемы

куба и панели равны. Откуда  $a_6 S_0 = h' S$ , и  $k_2 = S / S_0$ . Поскольку  $S_1 > S_0$ ,

то при увеличении коэффициента планарности должна возрасти допустимая мощность рассеяния в блоке, так как с большей площади теплоотдачи в среду может быть передана большая мощность рассеяния.

Оценим это количественно. Обозначим увеличение стороны верхней грани панели через  $k_3 = a_6 / a_6$ . Тогда общая площадь теплоотдачи панели

$$S = 2a_6^2 + 4a_6 h' = 2k_3 a_6 (k_3 a_6 + 2a_6 / k_2) = 2a_6^2 k_3 (k + \frac{2}{k_2}).$$



$$k_3^2 a_6^2 (a_6 / k_2) = a_6^3 \text{ и } k_3^2 = k_2.$$

Из равенства объемов находим, что заменив  $k_3$  на  $k_2$  в выражении для площади, получим

$$S_{II} = 2a_6^2 \left( k_2 + \frac{2}{\sqrt{k_2}} \right).$$

Увеличение удельной мощности рассеяния  $B'p$  за счет

перехода от кубической формы блока к панельной будет равно увеличению площади теплоотдачи этих форм, т.е.

$$B'_{II} = S_{II} / 6S_0 = \frac{1}{3} \left( k_2 + \frac{1}{\sqrt{k_2}} \right).$$

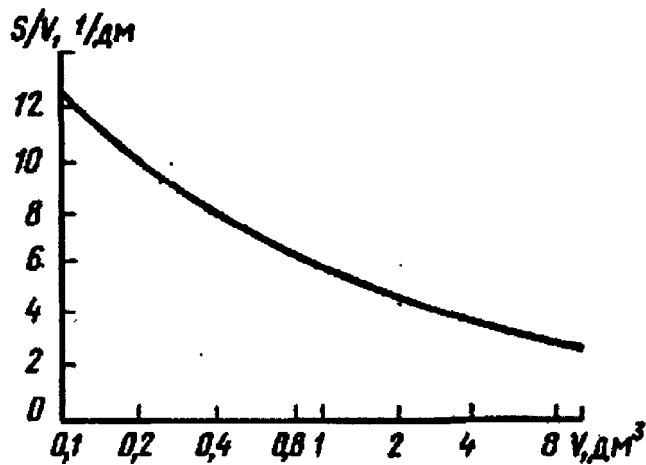


Рис. 4.17. Зависимость вариации мощности рассеяния блока от вариации его объема

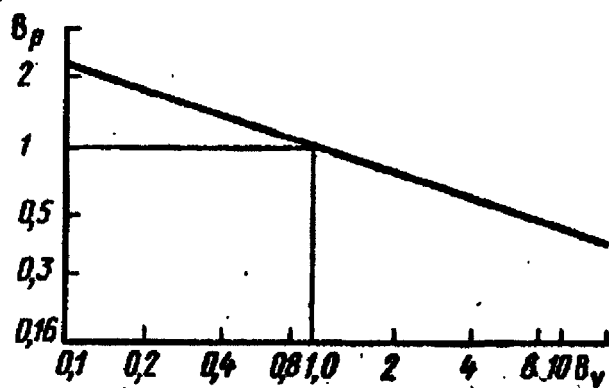


Рис. 4.18. Зависимость отношения площади теплоотдачи блока к его объему от объема блока

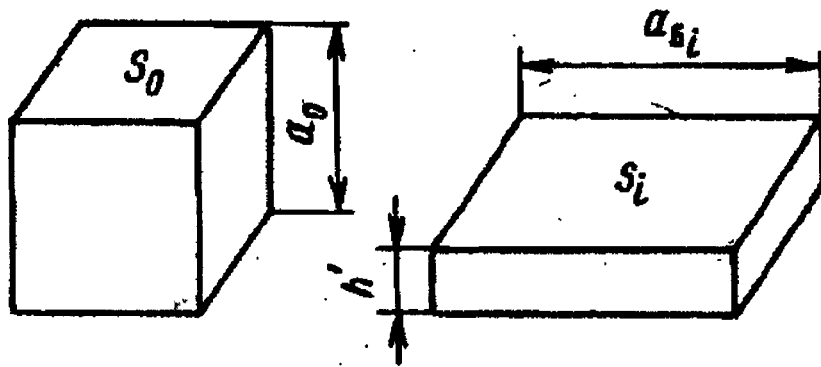


Рис. 4.19. К определению коэффициента планарности конструкции

По этой формуле получена зависимость выигрыша в удельной мощности рассеяния (ее вариация  $V'p$ ) от степени планарности формы блоков РЭС. Приведенные выше зависимости имеют непосредственное практическое значение при выборе рациональных объемов и формы блоков РЭС.

*Пример.* Требуется найти минимально допустимые габариты блока, если известно, что  $k_2 = 3$ ,  $At = 40^\circ\text{C}$  при  $t_{\max} = 60^\circ\text{C}$ ,  $a_k + a_l = 0,12 \text{ Вт}/(\text{дм}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $P_0 = 40 \text{ Вт}$ .

Принимаем, что 80% потребляемой мощности рассеяния переходит в тепловую энергию, или  $P_{\text{расс}} = 32 \text{ Вт}$ . Определим допустимую мощность рассеяния для блока кубической формы. Из графика на рис. 4.20 для  $k_2 = 3$  находим  $V'p = 1,39$ , тогда  $P_{\text{расс.к}} = 32/1,39 = 23 \text{ Вт}$ . Удельная мощность рассеяния в блоке  $P_{\text{уд.расс}} = 23/V$ . Допустимая удельная мощность рассеяния  $P_{\text{уд.расс.доп}} = 0,1240 \text{ S}/V$ . По графику рис. 4.181 методом последовательных приближений находим, что для выполнения условия  $P_{\text{уд.расс}} = P_{\text{уд.расс.доп}}$  необходим объем  $V = 0,73 \text{ дм}^3$ , при котором  $S/V = 6,6 \text{ 1}/\text{дм}$  и  $P_{\text{уд.расс}} = 31,5 \text{ Вт}/\text{дм}^3$ . Сторона куба равна  $a_0 = \sqrt[3]{V} = 0,9 \text{ дм} = 90 \text{ мм}$ . Высота блока  $h' = a_0/k_2 = 30 \text{ мм}$ , а сторона куба равна  $a_0 = Nk_2 a_0 = 1,73 \cdot 90 = 156 \text{ мм}$ . Искомые

(минимально допустимые) габариты блока: 156 x 156 x 30 мм. При наличии унифицированных типоразмеров блоков выбирается ближайший типоразмер, при этом стороны верхней грани могут корректироваться таким образом, чтобы ее площадь оставалась примерно постоянной; например, размеры 156 x 156 мм могут быть заменены на 420 x 57 мм. Это возможно по той причине, что результаты по расчету  $V'p$  для панелей квадратной и прямоугольной форм мало различаются между собой (кривая 2 на рис. 4.20).

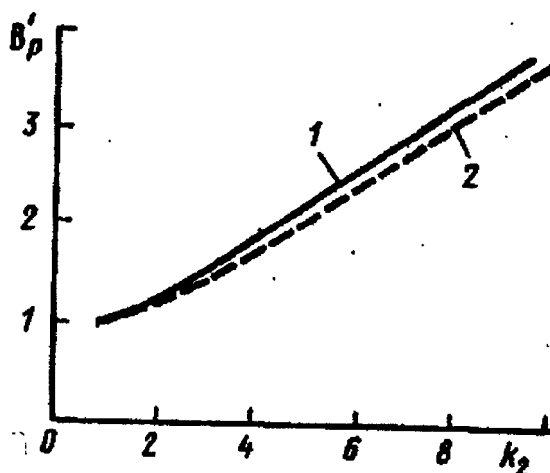


Рис. 4.20. Зависимости вариации мощности рассеяния блока от коэффициента планарности: 1 — для панели; 2 — для балки

Рассмотрим далее влияние объема и формы блоков на вибропрочность конструкций. Оценка этого влияния может характеризоваться изменением собственной частоты /о конструкции блока. Поскольку блок РЭС представляет собой совокупность (систему) элементов конструкции, имеющих различные массы, формы, размеры и способы закрепления, то каждый такой элемент или их сочетание (подсистема) обладает своей собственной частотой механических колебаний при резонансе, причем наиболее опасной из них является самая низкая, которая обычно характерна для плоского, крупноформатного (или массивного) и слабо закрепленного элемента. Наиболее опасными по вибропрочности будут функциональные ячейки и, в частности, их несущие плоские основания (печатные платы, рамки).

В общем случае влияние объема блока РЭС (без амортизации) может быть определено следующим образом: чем меньше объем блока, а следовательно и его масса, тем выше собственная частота конструкции и ее вибропрочность. Это подтверждается формулой жесткость конструкции;  $m$  — ее масса. Однако детально конкретизировать эту зависимость не представляется возможным, поскольку все определяется ФЯ и их жесткостью закрепления. Для одного и того же объема блока варианты ФЯ и их закреплений могут быть самыми различными. Поэтому влияние объема и формы блока на собственную частоту может быть оценено косвенно через размер длинной стороны ФЯ, входящий в основную формулу собственной частоты для пластины

$$f_0 = \frac{k_M k_B C h 10^4}{a^2} [\text{Гц}], \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ где } k \text{ —}$$

где  $k_M, k_B$  — коэффициенты материала и весовой нагрузки пластины;  $C$  — частотная постоянная, зависящая от формы ячейки и способа закрепления;  $h$  и  $a$  — толщина и длинная сторона пластины, см. При изменении объема или формы блока меняется лишь сторона  $a$  и ее отношение к меньшей стороне  $b$ , а также количество ячеек. Величины  $k_M, k_B, C$  и  $h$  остаются, как правило, постоянными. Для определения зависимости вариации собственной частоты  $B/f_0$  от коэффициента планарности рассмотрим по аналогии с предыдущим случаем отношения собственных частот для номинального и  $i$ -го вариантов, а именно

$$B_{f_0} = \frac{f_{0_i}}{f_0} = \left( \frac{a}{a_i} \right)^2 = \frac{1}{k_3^2} = \frac{1}{k_2}$$

Эта зависимость приведена графически на рис.4.21.

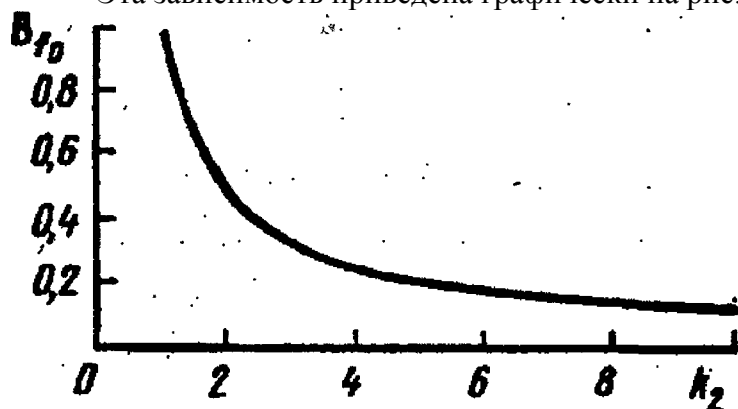


Рис.4.21. Зависимость вариации собственной частоты конструкции от коэффициента планарности

*Пример.* Для блока РЭС на печатных платах из стеклотекстолита ( $\rho = 2,47 \text{ г/см}^3$ ,  $E = 33 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ) с объемом, найденным в предыдущем примере, определить допустимое значение

коэффициента планарности и габариты блока, если заданы  $\omega = 300$  Гц,  $h = 1$  мм,  $k_B = 0,8$ ,  $C = 86$  и найдена величина  $K_M = 0,72$ .

Считаем, что блок имеет кубическую форму со стороной  $a_6 = 90$  мм (см. пример выше). Сторону квадратной ФЯ принимаем равной  $a = 75$  мм (с учетом стенок корпуса и зазора между ними и торцами пакета ячеек). Тогда  $\omega = 0,72 * 0,8 * 86 * 0,1 * 10^4 / 7,5^2 = 880,64$  Гц, а  $\omega_0 = 880,64 / 300 = 2,93$ . Таким образом, допустимое значение коэффициента планарности  $k_2 < 2,93$ . В предыдущем примере  $k_2 = 3$  и выбраны минимально допустимые размеры блока из условия обеспечения допустимой тепловой напряженности, т.е. блок был более плоским. Однако если учитывать еще и требования вибропрочности, то его размеры можно скорректировать следующим образом

$$h' = 90 / 2,93 = 30,7 \text{ мм}; k_3 = \sqrt{2,93} = 1,71; a = k_3 a_6 = 154 \text{ мм}.$$

Новые размеры  $154 \times 154 \times 30,7$  мм мало отличаются от предыдущих, однако в других случаях, когда  $k_2$  по одному критерию существенно отличается от  $k_2$  по другому критерию, возможны различные варианты габаритных размеров и их оптимизация.

#### 4.5. Выбор оптимальной формы блока РЭС по нескольким критериям качества

Как видно из рассмотренных примеров, выбор формы блока и его коэффициента планарности неоднозначно зависит от рассмотренных двух показателей качества, обеспечивающих его нормальную работу в условиях эксплуатации, и надо выбрать такое значение  $k_2$ , при котором оба условия по ТЗ удовлетворялись бы. Кроме того, при конструировании блоков необходимо подбирать размеры и форму ФЯ таким образом, чтобы размеры отвечали рекомендуемому ряду, например для печатных плат, а форма обеспечивала бы полное заполнение ее площади без «пустых мест». Это требование является дополнительным условием выбора оптимальной формы и в то же время ограничением в выборе вариантов. Другим дополнительным требованием (критерием) является условие получения в конструкции блока возможно большей плотности упаковки элементов в объеме или при выбранной степени интеграции ИС — минимального коэффициента дезинтеграции объема, так как  $y_6 = V_{uc} / q_v$ . Заметим, что чем больше формат ячейки, тем более рационально используется площадь, тем меньше коэффициент дезинтеграции площади, а следовательно и объема, тем выше плотность упаковки в блоке. Так, например, для одного и того же объема цифрового блока на печатных платах с корпусами ИС типа 401.14-1 были рассчитаны коэффициенты дезинтеграции объема по двум вариантам, когда блок состоял из 27 мелкоформатных ячеек ( $q_v = 6,3$ ) и шести крупноформатных ( $q_v = 5,2$ ). Изменение  $q_v$ , а следовательно и плотности упаковки, составило 21%, что весьма существенно, так как объем увеличился на одну пятую.

Таким образом, при выборе оптимальной формы надо учитывать уже четыре критерия при конструировании блоков РЭС на печатных платах. При выполнении блоков на бескорпусных МСБ, вводятся еще дополнительные критерии, связанные с конструкцией и технологией изготовления рамки.

Возьмем для общего случая конструирования блока РЭС на печатных платах три наиболее важных критерия, а именно: тепловую напряженность, вибропрочность и плотность упаковки, и рассмотрим общий ход решения задачи.

Пусть заданы по ТЗК следующие исходные данные: сложность с РЭС при количестве ИС  $N_{ИС}$ , тип корпуса ИС, число задействованных выводов  $n_{выв}$ , потребляемая мощность микросхемы  $P_{ис}$  и допустимая тепловая напряженность блока  $P_{yd \text{ пасс } T_3}$ , материал и толщина  $A_{пп}$  печатной платы, диапазон частот вибраций  $f_{min} \dots f_{max}$  и допустимая перегрузка  $n_{T_3}$ , тип компоновочной схемы ФЯ, по которой определяется коэффициент динамичности  $M$ , диапазон температур среды  $t_{min} \dots t_{max}$

Может быть предложен следующий порядок проведения расчетов:

1. По заданной сложности РЭС выбирают пять — шесть вариантов количества ячеек в нем так, чтобы в каждом варианте ячейки не имели свободных мест, т.е.  $N_{MC} = n_y N_x$ , где  $n_y$  — количество ячеек,  $N_x$  — количество ИС в ячейке:  $N_x = n_x P_y$ , где  $n_x P_y$  — количество ИС в строке и столбце (целые числа). При машинном способе расчета может быть выбрано свыше 10<sup>3</sup> вариантов для получения более плавных графических зависимостей.

2. Рассчитывают требуемые размеры  $L_x$ ,  $L_y$  печатных плат ФЯ для каждого варианта по формулам:

$$L_x = (n_x - 1)l_x + l_x + x_1 + x_2,$$

$$L_y = (n_y - 1)l_y + l_y + x_1 + x_2,$$

где  $l_x, l_y$  — шаги установки ИС по осям X и Y (выбирают по табл. 4.1 в зависимости от типа корпуса и числа задействованных выводов);  $l_x, l_y$  — размеры корпуса ИС по справочным данным;  $x_1, x_2, x_1, x_2$  — краевые поля (выбирают в зависимости от типа корпуса, толщины печатной платы, типа соединителя и контрольной колодки в ячейке).

3. После расчета  $L_x$  и  $L_y$  подбирают ближайшие целые значения  $L_x, L_y$ , а далее определяют размеры сторон корпуса блока с учетом добавок  $\Delta L_x$  и  $\Delta L_y$  на зазоры между пакетом ФЯ и стенками корпуса, толщины самих стенок и размеры для размещения межблочных соединителей,  $B = L_x + \Delta L_x$  и  $A = L_y + \Delta L_y$ .

4. Определяют высоту ячейки  $h_y = h_c + \Delta n + h_m$  — высота соединителя (по справочным данным);  $\Delta n$  — толщина печатной платы;  $h_m = 1,5$  мм — размер выступающих выводов ЭРЭ при монтаже на плату.

5. Рассчитывают для каждого варианта высоту пакета ячеек  $h_{n_{AK}} = n_y h_y + (n_y - 1)h_z$ , где  $h_z$  — размер воздушного зазора между ячейками (по верхней зоне установки ЭРЭ и нижней стороне монтажа соседней платы) в пакете.

6. Находят в каждом варианте высоту корпуса блока  $H = h_{max} + \Delta H$ , где  $\Delta H$  учитывает зазоры между пакетом и стенками корпуса и толщины самих стенок корпуса.

7. Рассчитывают объемы корпусов блока  $V = A * B * H$  и стороны

эквивалентного куба  $a_6 = \sqrt[3]{NV}$  для выбранных вариантов.

8. Определяют коэффициенты планарности  $k_2 = a_6/H$  и рассчитывают для вариантов плотности упаковки  $y_6 = N_{IC} n_3 / V$  где  $n_3$  — число элементов схемы в корпусе ИС (берется средневзвешенное для серии или нескольких серий).

9. Определяют для каждого варианта по формуле собственные частоты ячеек  $\omega$ , значения которых подставляют в формулы  $n_A = (2\pi f_0)^2 A_B / M_g$  и  $n_V = 2\pi f_0 V / M_g$ , где  $A_B \leq 0,03$ ,  $V_B \leq 800$  мм<sup>3</sup>/с (условия допустимых вибраций амплитуды и виброскорости для микроэлектронной аппаратуры);  $g$  — ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>). Из рассчитанных значений  $n_A$  и  $n_B$  берется меньшее  $n_{min}$ .

10. Для каждого варианта рассчитываются как для эквивалентных кубов удельные мощности рассеяния в блоках  $P_{yo.pacc} = 0,8 P_0 / V$ , где  $P_0 = N_{IC} P_{ис}$

11. Повариантно с учетом формы блоков находят допустимых удельные мощности рассеяния в блоках по формуле  $P'_{yo.pacc} = P_{yo.pacc} / B'p$ , где  $B'p$  для известных  $kz$  определяется по (4.2).

12. Для выбранных вариантов строятся зависимости  $n_{min} = f_1(k_2)$ ,  $P'_{уд.pacc} = f_2(k_2)$  и  $y_6 = f_3(k_2)$  одной плоскости. Там же проводятся линии для

$n = n_{T3}$  и  $P_{уд.pacc} = P_{уд.pacc T3}$

13. По представленным графикам определяются возможные значения  $k_2$ ,

для которых выполняются условия  $n_{min} \geq n_{T3}$  и  $P'_{уд.pacc} \leq P_{уд.pacc T3}$  и обеспечивается более высокое значение плотности упаковки элементов  $y_6$  в блоке. С учетом гарантии запасов по вибропрочности и тепловой напряженности выбирают конкретное значение коэффициента планарности, т.е. оптимальную форму блока РЭС.

*Пример.* Пусть сложность блока РЭС составляет  $n_{ИС} = 480$  микросхем серии К531 в корпусах типа 201.14-1 ( $l_x = 7,5$  мм,  $l_y = 19,5$  мм) с  $n_{выв} = 12$ , ориентация выводов — горизонтальная ( $t_x = 17,5$  мм,  $t_y = 25$  мм). В ячейках применяются печатные платы из

стеклотекстолита СФ-1-35-2,0 ( $k_M = 0,72$ ,  $A_{nn}=2\text{мм}$ ) и соединитель типа ГРПМ9-30 ШУ-1 ( $h_c = 9,5$  мм,  $A_{nn} = 78$  мм,  $y_I = 20$  мм); контрольная колодка отсутствует ( $x_I=x_2=y_I=5_{MM}$ ). Компоновочная схема ФЯ — односторонняя с заземлением трех сторон ( $C=76$ ,  $M=25$ ), величина зазора  $h_3=5$  мм. Среднее число элементов в корпусе микросхем равно  $n_3=30$ . Потребляемая мощность  $P_{ис} = 180$  мВт. Коэффициент весовой нагрузки принят  $k_B = 0,8$ ,  $ALx = AH = 10$  мм и  $ALy = 20$  мм. На блок действуют вибрации в диапазоне частот 50 Гц... 1 кГц. Допустимая перегрузка  $n_{T3} \leq 2$ . Диапазон температур - 10...+50 °С, допустимая тепловая напряженность

$P_{уд.расс.T3} = 13$  Вт/ДМ<sup>3</sup>.

Выбираем следующие варианты компоновки блока:

- I :  $n_x = 20, N_x = 24, n_y = 6, n_z = 4$ ;
- II :  $n_x = 12, N_x = 40, n_y = 8, n_z = 5$ ;
- III :  $n_x = 10, N_x = 48, n_y = 8, n_z = 6$ ;
- IV :  $n_x = 8, N_x = 60, n_y = 10, n_z = 6$ ;
- V :  $n_x = 6, N_x = 8, n_y = 10, n_z = 8$ ;
- VI :  $n_x = 4, N_x = 120, n_y = 12, n_z = 10$ .

Таблица 4.2

Параметр ФЯ (блока)яя	Вариант					
	I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7
Размер платы L 'хэ мм	105	140	140	175	175	210
Размер платы L 'у, мм	120	145	170	170	220	270
Высота пакета $H_{пак}$ , мм	355	211	175	139	103	67
Размеры блока:						
длина A, мм;	115	150	150	185	185	220
ширина B, мм;	140	165	190	190	240	290
высота H, мм	365	221	185	149	113	77
Объем блока V, дм <sup>3</sup>	5,876	5,47	5,27	5,23	5,017	4,91
Сторона эквивалентного куба a <sub>0</sub> мм	180,4	176,2	174	173,6	171,2	170

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7
Частота собственных колебаний/о, Гц	608	321	303	270	181	120
Допустимые перегрузке:						
по амплитуде $N_A$	17,8	4,97	4,42	3,52	1,58	0,7
по виброскорости $n_v$	12,4	6,58	6,2	5,53	3,7	2,46
Минимальная $Птт$	12,4	4,97	4,42	3,52	1,58	0,7
Коэффициент планарности $k_2$	0,49	0,8	0,94	1,16	1,51	2,2
Плотность упаковки $y$ , эл/см <sup>3</sup>	2,45	2,63	2,73	2,75	2,87	2,93
Выигрыш в удельной мощности рассеяния $B \cdot p$	1,11 6	1,91 2	1,00 1	1,00 5	1,04 5	1,18 4
Удельная мощность рассеяния для куба $P_{уд.расс.}$ , Вт/дм <sup>3</sup>	11,7 6	12,6 4	13,1 1	13,2 1	13,7 8	14,0 7
Удельная мощность рассеяния для блока $P \cdot \gamma_{д.расс.}$ , Вт/дм <sup>3</sup>	10,5 4	12,4 8	13,1	13,1 5	13,1 8	11,8 8

Согласно принятому выше порядку расчета и приведенным в нем формулам рассчитаем основные конструктивные параметры различных вариантов и сведем их в таблицу (табл. 4.2). По данным для шести вариантов построим зависимости возможных перегрузок, удельной мощности рассеяния в блоке, плотности упаковки, а также допустимых значений перегрузок и удельной мощности рассеяния от величины коэффициента планарности в этих вариантах (рис. 4.22). По оси абсцисс для каждого варианта указано число ФЯ в пакете. Как видно из графиков, запретными областями, отмеченными штриховкой на границах, в которых не обеспечиваются условия вибропрочности и тепловой напряженности, хотя и достигается в то же время высокая плотность упаковки, являются для  $P_{уд.расс.}$  диапазон  $0,875 \leq k_2 \leq 1,6$  и для  $n_{min} - k_2 \geq 1,4$ . Таким образом видно, что обеспечение обоих условий по ТЗ может быть выполнено лишь при  $k_2 < 0,875$ . Ближайшим вариантом к этому значению является II вариант, в котором выполняются также требования полного заполнения площади и достаточной плотности упаковки. При этом размеры печатной платы подбираются под типовые по ГОСТ 10317 — 79", а именно:  $Lx = 140$  мм,  $Ly = 150$  мм, для которых должна быть проведена корректировка  $n_{min}$ ,  $P \cdot \gamma_{д.расс.}$  и  $y_6$ . Заметим в заключение, что максимум тепловой напряженности в блоке приходится не на форму куба ( $k_2 = 1$ ), а на более плоскую ( $k_2 = 1,5$ ), так как объем блока от варианта I к варианту VI уменьшается за счет уменьшения общей площади краевых полей печатных плат.

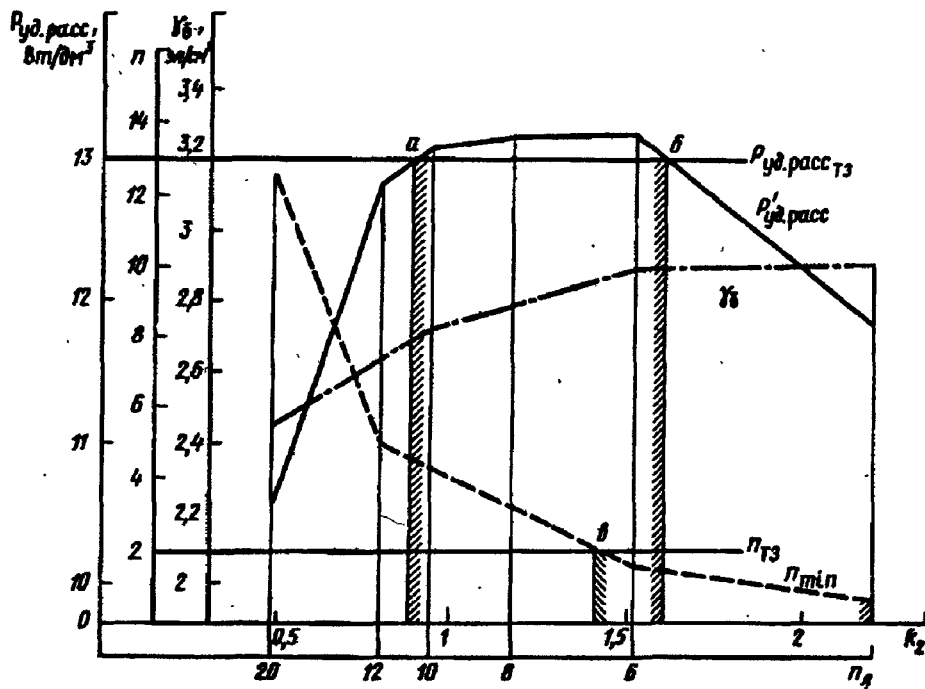


Рис. 4.22. К определению оптимальной формы блока по нескольким критериям

#### 4.6. Количественная оценка массы комплекса микроэлектронных средств на ранних стадиях проектирования

В техническом задании на разработку нового изделия РЭС того или иного уровня иерархии наряду с функциональными (электрическими) параметрами заданы и его материальные параметры, такие как надежность, масса и объем, определяемые тактико-техническими требованиями самого объекта установки РЭС. Эти основные параметры для РЭС летательных аппаратов должны быть строго обеспечены при конструировании. По заданным показателям ТЗ конструктор составляет техническое задание на конструирование (ТЗК) изделия, руководствуясь существующими или перспективными наборами элементной базы и методами компоновки. При этом на ранних стадиях проектирования в качестве рабочих документов у него имеются лишь электрические схемы, габаритные чертежи или чертежи общего вида, по которым возможны прикидочные количественные оценки надежности, потребляемой мощности и объема. Оценка же массы, которая проводится обычным путем по сборочным и детализированным чертежам, в этот период невозможна, так как эти чертежи отсутствуют. Неопределенность в оценке этого параметра не позволяет конструктору ответить на вопросы, правильно ли выбраны метод компоновки и элементная база и не придется ли их менять в дальнейшем.

Развитие и широкое внедрение в промышленные разработки новой элементной базы и микроэлектронного конструирования позволило путем анализа и обобщения результатов для многих конструктивов микроэлектронных средств получить характерные устойчивые значения коэффициентов дезинтеграции по массе и объему. На их основе была предложена методика количественной оценки массы комплекса микроэлектронных устройств на этапе технического предложения, которая была апробирована на ряде конструкторских разработок и дала достаточно приемлемые по точности оценки. В основу этой методики были положены следующие принципы:

> любой комплекс микроэлектронных средств независимо от его назначения и объекта установки может содержать микроэлектронные устройства и устройства, специфичные по своей конструкции (параболические, рупорные и другие антенны, мощные передатчики на лампах бегущей волны, магнетронах, индикаторные устройства на электроннолучевых трубках и т.п.);



> оценка масс специфичных конструктивов может базироваться на опыте разработок прототипов в зарубежной и отечественной практике или на , расчете масс по удельным коэффициентам;

> при расчете массы комплекса микроэлектронных средств ^ предполагается известная масса кабельной сети между устройствами ^ комплекса по ее заданной длине и погонной массе;

> устройства, выполненные на микросхемах и микросборках, могут содержать определенное число ячеек цифрового, аналогового и силового типов (вторичные источники питания на силовых микросхемах);

> каждая микросхема (корпусированная) имеет известное значение массы при заданном типе корпуса; каждая бескорпусная МСБ в зависимости от того, какие функции электрической схемы и какое их число она в себя «вбирает», обладает определенной массой, которая в случае типовой МСБ, например, размером 24 x 30 мм, может быть конкретно рассчитана для цифрового, аналогового и силового типов; если размеры МСБ отличаются от размеров типовой МСБ, но кратны им, то пересчет масс не вызывает затруднений;

> общее число микросхем или МСБ и конкретное их содержание в ФЯ разных типов определяется из электрической схемы каждого

^ микроэлектронного устройства; число и массы навесных ЭРЭ, совместимых с микросхемами и МСБ, определяются из перечня элементов и паспортных данных на них;

^ > для пересчета масс микросхем, микросборок и ЭРЭ в массы ФЯ блоков, панелей и микроэлектронных устройств используются известные средние значения коэффициентов дезинтеграции массы от одного уровня компоновки к другому (от микросхем, МСБ к ячейке, от ячейки к блоку или панели, от блока или панели к устройству или комплексу). Далее приведены порядки расчета массы комплекса РЭС для блочного и моноблочного методов компоновки.

#### Порядок расчета массы комплекса РЭС для блочного метода компоновки

1. По заданной электрической схеме для каждого  $g$ -го микроэлектронного устройства проводится его функционально-конструктивное разбиение на  $g$  ячеек цифрового,  $n$  ячеек аналогового и  $l$  ячеек силового типов.

2. По выбранной элементной базе для каждого типа микросхемы (или типовой МСБ) определяется средняя масса, например для цифровой —  $m_1$ , аналоговой —  $m_2$ , силовой —  $m_3$ .

3. Для каждой ячейки  $i$ -го устройства определяются из перечня элементов и паспортных данных число комплектующих микросхем (или МСБ) и массы навесных ЭРЭ, например для цифровой ячейки соответственно  $p$  и  $m'_1$ , для аналоговой —  $s$  и  $m'_2$  для силовой —  $t$  и  $m'_3$ .

Результаты выполнения пп. 1 — 3 могут быть сведены в табл. 4.3.

4. Рассчитывают активные (полезные) массы микросхем (МСБ) и ЭРЭ, входящих в каждую цифровую, аналоговую и силовую ячейки  $i$ -го устройства соответственно:

$$m_{N1} = pm_1 + m'_1; m_{N2} = sm_2 + m'_2; m_{N3} = tm_3 + m'_3.$$

Таблица 4.3

Тип ячейки	Число ячеек	Масса микросхем (МСБ), г	Число микросхем (МСБ) БФЯ	Масса ЭРЭ в ФЯ, г
Цифровая	$G$	$m_1$	$P$	$pn'_1$
Аналоговая	$n$	$m'_2$	$S$	$m'_2$
Силовая	$l$	$m_1$	$T$	$m'_3$

5. Определяют массу пакета ячеек  $i$ -го устройства по коэффициентам дезинтеграции массы для выбранных компоновочных схем этих ячеек:

$$m_{\text{ПАК}_i} = q_{m_{\text{КТВ-ФЯ1}}} m_{N_1} r + q_{m_{\text{КТВ-ФЯ2}}} m_{N_2} n + q_{m_{\text{КТВ-ФЯ3}}} m_{N_3} l.$$

6. Рассчитывают массу блока  $i$ -го устройства с учетом коэффициента дезинтеграции массы в блоке:

$$m_{b_i} = q_{m_{\text{ФЯ-б}}} m_{\text{ПАК}_i}.$$

7. Находят суммарную массу микросхемных блоков с учетом дезинтеграции массы в комплексе (стойке, шкафу):

$$m_{\Sigma} = q_{m_{p-k}} \sum_{i=1}^k m_{b_i}.$$

8. Определяют массы специфических конструкций  $m_{\text{теп}}$  и кабельной сети  $m_{\text{каб}}$  по прототипам или рассчитывают по удельным коэффициентам, длине и погонной массе.

9. Находят суммарную массу комплекса РЭС

$$m_{\text{РЭС}} = m_{\Sigma} + m_{\text{сн}} + m_{\text{каб}}.$$

Порядок расчета массы комплекса РЭС для моноблочного метода компоновки (в контейнере):

1. По заданной электрической схеме микросхемной части комплекса РЭС проводят функционально-конструктивное разбиение на  $k$  панелей.

2. Аналогично изложенному выше определяют средние массы  $m_1, m_2, m_3$ .

3. Для каждой  $i$ -й панели определяют число микросхем (МСБ) цифрового ( $p$ ), аналогового ( $s$ ) и силового ( $t$ ) типов, а также массу навесных РЭС; заполняют графы табл. 4.3.

4. Рассчитывают активные (полезные) массы микросхем (МСБ) и ЭРЭ, входящих в каждую  $i$ -ю панель:

$$m_{N_i} = pm_1 + sm_2 + tm_3 + m_{\text{ЭРЭ}}.$$

5. Находят массу  $i$ -й панели с учетом коэффициента дезинтеграции массы от уровня микросхем (МСБ) к панели:

$$m_{\Pi_i} = q_{m_{\text{МСБ-п}}} m_{N_i},$$

$$\text{где } q_{m_{\text{МСБ-п}}} = q_{m_{\text{КТВ-ФЯ}}}.$$

6. Определяют массу пакета панелей

$$m_{\text{ПАК}} = \sum_{i=1}^k m_{\Pi_i}.$$

7. Рассчитывают массу моноблока микросхемных устройств с учетом дезинтеграции массы при корпусировании в контейнер:

$$m_{\Sigma} = q_{m_{\text{п-к}}} m_{\text{ПАК}},$$

$$\text{где } q_{m_{\text{п-к}}} = q_{m_{\text{ФЯ-б}}}.$$

8. Определяют массы специфических конструкций  $m_{\text{теп}}$  и кабельной сети

$m_{\text{каб}}$

9. Находят суммарную массу комплекса РЭС по формуле, приведенной в п. 9 предыдущего порядка расчета.

Пример. Комплекс РЭС бортового типа содержит: специфичное устройство (зеркальную антенну с приводом) массой  $m_{\text{сн}} = 1357$  г, кабельную сеть массой  $m_{\text{каб}} = 150$  г, микросхемное устройство приема и обработки сигналов, сложность которого определяется 288 цифровыми и 60 аналоговыми интегральными схемами. Блок питания конструктивно выполнен отдельно и имеет массу 150 г. По ТЗ на разработку  $m_{\text{РЭС}} \leq 5$  кг. В ТЗ на конструирование необходимо указать рекомендуемый метод конструирования микросхемного устройства, его частей и их общую компоновку. В

качестве I варианта выберем метод конструирования на печатных платах с корпусированными ИС. Из цифровых ИС выбираем серию К561 в корпусе 401.14-2 массой  $m_1 = 1$  г. В одной двухсторонней цифровой ячейке содержится  $p = 36$  микросхем, а всего ФЯ  $r = 8$ . В ней имеется также по четыре резистора С2-23-О,125 общей массой 0,6 г и по три конденсатора К53-28 общей массой 6,4 г, масса ЭРЭ в цифровой ячейке  $m'_1 = 7$  г. Из аналоговых ИС выбрана серия К175 в корпусе 401.14-3 массой  $m'_2 = 0,9$  г. В одной ФЯ пенального типа размещены  $s = 6$  микросхем, а всего аналоговых ФЯ  $n = 10$ . Каждая микросхема имеет обрамление из трех резисторов С2-23-0.125 общей массой 0,6 г, четырех конденсаторов (типы К53-28 и К10-17 с проволочными выводами) общей массой 6,4 г и одной тороидальной катушки массой 3 г. В итоге суммарная масса ЭРЭ в ячейке  $m'_2 = 6 \cdot 10 = 60$  г. Полученные данные сведем в таблицу.

Тип ФЯ	Число ячеек	Масса микросхемы	Число микросхем	Масса ЭРЭ в ФЯ, г
Цифровая	8	1	36	7
Аналогов	10	0,9	6	60

далее массу пакета аналоговых ячеек  $m_{ПАК2} = 6,6 \cdot 65,4 \cdot 10 = 4316 = 4,32$  кг. Эти два пакета по функциональному назначению удобнее компоновать в виде

двух отдельных блоков, массы которых соответственно будут  $nig = 1,3 \cdot 1,1$

$= 1,43$  кг и  $m_{Б2} = 1,3 + 4,32 = 5,6$  кг. Эти два блока вместе с автономным блоком питания должны быть скомпонованы в общей ферме, при этом коэффициент дезинтеграции от блоков к комплексу  $qm[6-k] = 1,2$ . Тогда масса

микроэлектронного устройства и блока питания вместе с рамой-фермой составит  $m_E = 1,2(1,43 + 5,6 + 0,15) = 8,6$  кг, а масса комплекса  $m_{рэс} = 8,6 + 1,35 + 0,15 = 10,1$  кг > 5 кг по ТЗ.

Рассмотрим II вариант — метод конструирования на металлических рамках с бескорпусными МСБ. Для цифровых ячеек примем одностороннюю компоновку с восьмью МСБ размерами 24 x 30 в каждой ( $p = 8$ ). Каждая МСБ содержит по 12 бескорпусных ИС. Тогда общее число цифровых ячеек  $z = 3$ . Масса одной МСБ указанного размера из ситалловой подложки  $m_i = 1,1$  г. Общая масса ЭРЭ в цифровой ячейке складывается из тех же элементов, что и ранее, и составляет  $m'_1 = 7$  г. В аналоговых ячейках пенального типа скомпонованы в каждой  $s = 5$  микросборок размерами 16 x 30 мм, а в каждой МСБ имеется по три бескорпусные ИС, откуда число ячеек  $n = 4$ . Масса одной МСБ  $m_2 = 1,7$  г (с учетом навесных компонентов). Из навесных ЭРЭ, не устанавливаемых на МСБ, могут применяться либо пьезофильтры, либо тороидальные катушки, массу которых можно принять для одной ячейки  $m_2 = 6$  г. Полученные данные поместим в рабочую таблицу.

Тип ФЯ	Число ячеек	Масса микросхемы, г	Число микросхем в ФЯ	Масса ЭРЭ в ФЯ, г
Цифровая	8	1	36	7
Аналоговая	10	0,9	6	60

Определим для выбранных компоновок ячеек и блока:

$$m_{N_1} = 8 \cdot 1,1 + 7 = 15,8 \text{ г}; m_{N_1} = 5 \cdot 1,7 + 6 = 14,5 \text{ г}.$$

$$q_{m_{\text{КТЯ-ФЯ}}_1} = 7,7; q_{m_{\text{КТЯ-ФЯ}}_2} = 11,5; q_{m_{\text{КТЯ-ФЯ}}} = 3.$$

Найдем активные массы ячеек:

Определим далее массу пакета ячеек, собранных совместно:  $m_{\text{ПАК2}} = 7,7 \cdot 15,8 + 3 + 11,5 \cdot 14,5 + 4 = 1032 = 1,03 \text{ кг}$ . Блок питания может быть собран на силовых МСБ и помещен в общий герметичный моноблок. При этом масса блока питания может быть уменьшена до 50 г. Тогда общая масса микроэлектронного моноблока составит  $m_{\text{б}} = 3 \cdot (1,03 + 0,05) = 3,24 \text{ кг}$ , а  $m_{\text{трэк}} = 3,24 + 1,35 + 0,15 = 4,74 < 5 \text{ кг}$  по ТЗ.

Таким образом, для выполнения требования ТЗ по массе необходимо в ТЗК рекомендовать построение микроэлектронной части комплекса в виде моноблока на металлических рамках с бескорпусными микросборками. Поскольку запас по массе практически отсутствует, лучше применять двухстороннюю компоновку цифровых ячеек.

#### 4.7. Распределение ресурса масс и объемов» в конструкциях РЭС

Будем рассматривать конструкцию как совокупность различных по своему назначению элементов и компонентов, объединенных общими связями. Эти элементы и компоненты подразделяются на три основные группы, а именно: полезные (схемные) элементы — группа  $N$ , несущие конструкции — группа  $H$ , монтаж — группа  $M$ . В соответствии с этим делением массу и объем любого конструктива РЭС можно записать как суммы этих величин составляющих групп:

$$m = m_N + m_H + m_M \quad V = V_N + V_H + V_M + V_B,$$

где  $V_B$  — объем незаполненных элементами и компонентами конструкций воздушных промежутков. Из приведенных выше выражений, используя общее выражение для удельной массы ( $m' = m/V$ ), можно получить уравнение, отражающее распределение ресурса масс и объемов в конструктиве любого уровня:

$$m' = m'_N \frac{V_N}{V} + m'_H \frac{V_H}{V} + m'_M \frac{V_M}{V},$$

где  $m'_N$ ,  $m'_H$ ,  $m'_M$  — удельные массы соответствующих групп элементов и компонентов, как правило, отражающие плотности материалов, из которых они выполнены.

Само по себе определение удельной массы конструктива, например блока или ячейки, не представляет особого интереса для сравнения качества конструкции, так как с ростом интеграции ИС доля полезных элементов в общей массе конструкции уменьшается, а доля несущих конструкций и монтажа при существующих методах их изготовления увеличивается. Иными словами, увеличение плотности конструкции достигается не ее компактной компоновкой, а «утяжелением» за счет несущих и монтажных конструкций в общей массе. Это положение подтверждается усредненными результатами проведенного анализа по распределению масс и объемов в современных наиболее компактных конструкциях ячеек и блоков РЭС (табл. 4.4).

Используя данные табл. 4.4 и уравнение распределения ресурса масс и объемов, можно на этапах разработки конструкции более правильно путем расчетов выбрать вид материала несущей конструкции, вид монтажа и компоновочной схемы и др. Покажем это на примерах.

Пример. В цифровой ФЯ на металлической рамке содержится 8 МСБ по 12 ИС в каждой. Требуется выбрать материал рамки. Мощность потребления каждой ИС равна 40 мВт, а мощность рассеяния 32 мВт. Тогда ячейка рассеивает мощность 3,07 Вт. Допустимая мощность рассеяния для ячейки равна 60 Вт/дм<sup>3</sup>. Тогда объем ее должен быть не менее  $V \Rightarrow 3,07/60 = 0,051 \text{ дм}^3 = 51 \text{ см}^3$ . Масса ячейки по ТЗК не должна превышать 75 г, откуда удельная масса  $m' \leq 75/51 = 1,47 \text{ г/см}^3$ . Уточним исходные данные: для ситалловых подложек МСБ  $\rho_{\text{ст}} = 2,6 \text{ г/см}^3 = m'_n$ , плотность стеклотекстолита  $\rho_{\text{СФ}} = 2,47 \text{ г/см}^3 = m'_M$ . Из табл. 4.4 имеем  $V_N/V = 0,18$ ,  $V_H/V = 0,24$  и  $V_M/V = 0,04$ . Подставляя эти данные в уравнение ресурса масс, получаем, что

$$m'_H \leq \frac{1,47 - 2,6 \cdot 0,18 - 2,47 \cdot 0,04}{0,24} = 3,76 \text{ г/см}^3.$$

Таблица 4.4

Конструктив	$V_N/V$	$V_H/V$	$V_M/V$	$V_V/V$	$m_N/m$	$m_H/m$	$m_M/m$	$m',$ г/см <sup>3</sup>
Двухсторонняя ФЯ на печатной плате с	0,14	0,13	0,1	0,63	0,31	0,47	0,22	0,75
Двухсторонняя ФЯ на металлических рамках с	0,18	0,24	0,04	0,54	0,23	0,69	0,08	0,95
Блок книжной конструкции из ФЯ на печатных платах с	0,08	0,11	0,06	0,75	0,24	0,55	0,21	0,5
Блок книжной конструкции из ФЯ на металлических	0,1	0,2	0,1	0,6	0,15	0,62	0,23	1,15

Таким образом, для выбора материала рамки рассчитана допустимая (не более) плотность этого материала. Из применяемых металлов можно рекомендовать алюминиевые ( $P_{Al} = 2,8$  г/см<sup>3</sup>) или магниевые ( $P_{Mg} = 1,8$  г/см<sup>3</sup>) сплавы, например АМг, В95, МА8 и др. Выбираем алюминиевый сплав АМг, тогда  $m'_H = 2,8$  г/см<sup>3</sup>. Определим реальную величину  $m' = 2,6 \cdot 0,18 + 2,8 \cdot 0,24 + 2,47 \cdot 0,04 = 1,24$  г/см<sup>3</sup>, откуда масса ячейки при минимально допустимом объеме будет равна

$$m = 1,24 \cdot 51 = 63,24 \text{ г} < 75 \text{ г по ТЗК.}$$

*Пример* В блоке книжной конструкции из ФЯ на металлических рамках с бескорпусными МСБ необходимо выбрать вид внутриблочного монтажа:

либо матрицу-ремень, либо гибкие шлейфы. Примем условия предыдущего примера:  $m' = 1,24$  г/см<sup>3</sup>,  $m'_N = 2,6$  г/см<sup>3</sup>,  $m'_H = 2,8$  г/см<sup>3</sup>, а также  $m'_M = 1,8$

г/см<sup>3</sup> (резина, лавсан). Из табл. 4.4 находим  $V_N/V = 0,1$ ,  $V_H/V = 0,2$ . Тогда

$$V_M/V \leq \frac{1,24 - 2,6 \cdot 0,1 - 2,8 \cdot 0,2}{1,8} = 0,23.$$

При применении матрицы-ремня объем, занимаемый матрицей-ремнем и печатными платами, составляет 25...30%, т.е.  $V_M/V = 0,25...0,3 > 0,23$ , поэтому этот вариант не годится и следует выбрать гибкие шлейфы, занимающие 0,1 объема блока.

#### 4.8. Выбор материалов корпусов

В настоящее время существует целый спектр материалов для корпусов РЭС, полученных либо путем незначительных улучшений известных материалов машиностроения и авиации, либо путем их радикальных изменений или создания принципиально новых. Такое разнообразие является следствием необходимости защитить радиоэлектронное устройство от неблагоприятных воздействий окружающей среды, сохраняя удобство механической обработки, формообразования, соединения частей прибора.

Опытный конструктор, которому приходится разрабатывать самые разнообразные корпуса РЭС, производит выбор материалов, основываясь прежде всего на личном опыте и опыте создания аналогичных изделий в прошлом. В случае отсутствия такого опыта выбор марки материала осуществляется на основании расчетов, связанных с соблюдением

перечисленных критериев и стоимости. Прежде всего, материалы несущих конструкций следует выбирать с учетом удельной прочности и жесткости или обобщенного коэффициента.

Интуитивно, учитывая удобство перемещения и транспортировки прибора, конструктор стремится обеспечить требуемую прочность при минимальной толщине стенки корпуса, т.е. при максимальном снижении массы. Действуя таким образом, конструктор, может быть, неосознанно выбирает массу прибора в качестве целевой функции, подлежащей минимизации. Количественная оценка качества материала определяется из выражения для удельной прочности при растяжении-сжатии  $\delta_{y\delta,p} = \delta v/p$ , удельной прочности при изгибе  $\delta_{y\delta.M} = \delta_{M/p}$ ; удельной жесткости  $E_{y\delta} = E/p$ , где  $\delta v$  — временный предел текучести;  $p$  — плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  $\delta_u$  — допустимое напряжение изгиба. Па;  $E$  — модуль упругости материала, Па. Обобщенный коэффициент определяется как

$$K_{общ} = \delta_{y\delta} E_{y\delta} = \delta_{v(u)} E / p^2.$$

Усредненные показатели для основных материалов корпусов РЭС представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Материал	$\delta v$ , МПа	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$p$ , г/см <sup>3</sup>	$\delta_{y\delta}$ , Па	$E_{y\delta}$ , Па	$U_{общ}$
Конструкционные качественные стали	320...730	320...324	7,8...7,85	40...93	40,76...4153	1660...3863
Сталь легированная	750...1500			96...191	3907...7932	
Сплавы титана	600...1200	НО...120	4,45...4,54	132...269	24...26,43	3194...7932
Сплавы меди	200...750	100...200	8,7...8,9	22,5...86,2	11,2...23,0	252...1981
Сплавы алюминия	190...66	70...75	2,6...2,8	67,8...263	24,2...28,8	1641...7298
Сплавы магния	100...280	40...45	1,75...1,90	52,6...160	21...25,7	1107...4114

Если деталь корпуса работает на прочность (планки, стойки, кронштейны), то необходимо пользоваться значением  $\delta v$ . Если деталь работает на жесткость (лицевая панель, шасси, крышки), то пользуются  $E_{y\delta}$ . Как видно из табл. 4.7,  $E_{y\delta, max}/E_{y\delta, min} = 4$ , а  $\delta_{y\delta, max}/\delta_{y\delta, min} = 11,2$ , т.е. жесткость материалов примерно одинакова. Поэтому целесообразно при выборе материала пользоваться обобщенным коэффициентом  $K_{общ}$ , который характеризует способность материала обеспечить высокую прочность при наименьшей деформации и массе.

Для корпусов РЭС из всего многообразия сталей в основном применяются те, которые обладают высокой пластичностью, пригодны к изготовлению деталей штамповкой, холодной высадкой и хорошо свариваются. В основном это качественные углеродистые стали марок 08 кп, 10 кп, также 15, 20, где цифры характеризуют содержание углерода в сотых долях процента. Большее содержание углерода снижает пластичность и не позволяет штамповать деталь. Если аппаратура используется в агрессивных средах (морском тумане, кислотной, щелочной среде или при повышенной влажности), то необходимо корпуса изготавливать из легированных нержавеющей сталей. С учетом требования хорошей свариваемости и штамповки в холодном состоянии рекомендуется использовать хромо-никелево-титановые стали марки 12Х18Н9Т или их бестигановые заменители: 20Х13НГ9, 10Х14АГ15, 10Х14Г14НЗ.

Чаще всего корпуса радиоаппаратуры предпочитают изготавливать из алюминиевых сплавов. Малый удельный вес, высокая пластичность и более высокая коррозионная

стойкость по сравнению со сталями сделали их более предпочтительными. За счет легирующих добавок и термической обработки алюминиевые сплавы могут обладать повышенными прочностью и коррозионной стойкостью. В зависимости от способа изготовления деталей одинаково широко используются для корпусов РЭС алюминиевые сплавы, деформируемые и литейные. Из деформируемых сплавов детали несущих элементов изготавливаются резанием, механической обработкой, методами пластической деформации.

Различают деформируемые сплавы, упрочняемые и неупрочняемые; неупрочняемые — сплавы алюминия с магнием (АМг), марганцем (АМц). Они имеют высокую пластичность, хорошую свариваемость, высокую коррозионную стойкость. Эти сплавы наиболее удобны для получения деталей сваркой. Для корпусов РЭС, испытывающих повышенные механические нагрузки (инерционные воздействия, вибрации, удары), используются дуралюмины, сплавы системы «алюминий — медь — магний» (А1 — Си — Mg). Они упрочняются при термической обработке и позволяют обеспечить хорошее сочетание прочности, пластичности, коррозионной стойкости. Для РЭС используются Д1, Д16, Д19. При повышенных требованиях к пластичности и коррозионной стойкости целесообразно элементы несущих конструкций изготавливать из АД31, АД33, АВ. Особенно удобны эти материалы для декоративной отделки прибора, лицевых панелей, ручек.

Для корпусов, работающих в условиях криогенных температур, предпочтительно использование ковочных сплавов АК6, АК8 системы А1—Mg—Si. Как следует из табл. 4.5, снижение пластичности — наиболее эффективный путь повышения удельной прочности  $\delta_{уд}$  и удельной жесткости. Значительного улучшения таких характеристик можно достичь, если использовать сплав 1420 системы А1—Mg—Li, который отличается от сплава Д16 пониженной на 11% плотностью и повышенным на 4% модулем упругости. Коррозионная стойкость такая же, как и у АМг. Применение сплава 1420 вместо Д16 позволяет снизить массу деталей корпуса на 10... 15%.

Для изготовления несущих элементов сложной формы используются литейные сплавы. По назначению эти сплавы можно условно разбить на следующие группы:

1. Сплавы, предназначенные для герметичной РЭС (АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ8, АЛ9-1, АЛ34(ВАЛ5), АЛ4М, АЛ32).

2. Высокопрочные жаропрочные сплавы (АЛ19, АЛ3, АЛ5, АЛ5-1, АЛ33(ВАЛ11)).

3. Коррозионно-стойкие сплавы (АЛ8, АЛ22, АЛ21, АЛ27, АЛ27-1). Корпусы РЭС и их детали относятся к элементам малых размеров. Качество таких деталей, полученных литьем, будет определяться не столько механической прочностью, сколько технологическими характеристиками:

жидкотекучестью, степенью изменения механических свойств, герметичностью, склонностью к образованию пустот, трещин. Поэтому наибольшее распространение получили сплавы первой группы, выполненные на основе А1— Si, А1— Si— Mg, так называемые силлумины. Двойной сплав АЛ2 (А1 — Si) рекомендуется для литья малогабаритных деталей, так как он не упрочняется термически и склонен к образованию усадочных раковин. Остальные сплавы этой группы относятся к системе А1— Si — Mg и имеют лучшие литейные свойства. Поэтому крупногабаритные детали РЭС целесообразно отливать из АЛ4, АЛ9. Если необходима повышенная механическая прочность, удобно использовать АЛ9-1, содержащий добавку титана. Сплавы АЛ32, ВАЛ8 предназначены для литья под давлением и точного литья.

Коррозионно-стойкие сплавы третьей группы обладают повышенной стойкостью в морской воде, щелочных и азотнокислых средах. Однако невысокий интервал рабочих температур коррозионных свойств (от -60 до +60°С) ограничивает их применение для РЭС. Лишь АЛ24 может сохранить свои свойства до +150 °С. Основные характеристики марок алюминиевых сплавов приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Сплав	$\rho$ , т/см <sup>3</sup>	$E$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$E_{уд}$	$\delta_{уд}$	$K_{общ}$
1	2	3	4	5	6	7

Амц	2,73	70	170	25,6	62,27	159,41
АМг2	2,68	71	190	26,49	70,89	1878,0
Д16	2,8	72	360	25,71	128,5	3305,5
Д16Т	2,8	72	460	25,71	164,28	4223,78
Д19	2,76	70	480	25,36	173,9	4399,99
АД31	2,71	71	250	26,2	92,25	2416,9

Окончание таблицы 4.6

1	2	3	4	5	6	7
АД33,	2,71	71	140	26,2	51,66	1353,5
АВ	2,70	71	350	26,3	129,6	3409,2
АК6	2,75	72	378	26,18	137,4	4525,7
АК8	2,80	74	480	26,40	171,4	4525,7
1420	2,47	75	450	30,36	182,2	5531,1
АЛ2	2,65	70	190	26,4	71,70	1892,8
АЛ4	2,65	70	290	26,40	199,4	2889,0
АЛ9	2,66	70	230	26,30	86,4	22274,8
ВАЛ8	2,73	72	410	26,30	150,18	3942,2
АЛ32	2,65	71	280	26,79	105,60	2831,7
АЛ27	2,55	70	360	27,45	141,1	3879,2
АЛ24	2,74	69	310	25,18	113,1	2848,8

Ценными материалами для радиотехнических конструкций являются магниевые сплавы. Они хорошо поглощают вибрации, что особенно важно для самолетной и вертолетной аппаратуры. Например, удельная вибрационная прочность магниевых сплавов почти в 100 раз выше, чем у дуралюминов (Д16), и в 20 раз лучше, чем у конструкционных сталей. По удельной жесткости при изгибе и кручении магниевые сплавы не уступают алюминиевым и стальным. Эти сплавы используются не только как ценный технический материал с малой плотностью, но и как заменитель дефицитных и дорогостоящих легированных сталей, бронз, латуней. Так, для микроэлектронной аппаратуры интерес представляют сверхлегкие сплавы МА18, МА21 с плотностью 1,3-1,6 г/см<sup>3</sup>, которые обладают пластичностью, удельной жесткостью и прочностью выше, чем у дуралей (табл. 4.7).

Следует отметить сплав МЦИ, предназначенный для литья деталей, работающих в условиях вибраций. Его использование позволяет уменьшить массу деталей, подвергающихся повышенной вибрационной нагрузке, и увеличить надежность и срок службы. Литейные магниевые сплавы предназначены для фасонного литья. В конструкциях РЭС применяются сплавы МЛ4, МЛ6, МЛ9, МЛ10.

Сплавы титана находят ограниченное применение при разработке несущих элементов РЭС. Удельные прочностные характеристики — такие же, как у Mg и Al. Модуль упругости в два раза меньше, чем у сталей, что затрудняет получение жестких конструкций. Несмотря на высокую температуру плавления, титан не обладает жаропрочностью и склонен к ползучести даже при нормальных температурах. Наиболее ценными качествами титана являются высокие прочностные свойства при криогенных температурах и низкий коэффициент линейного расширения. Поэтому титановые сплавы находят применение прежде всего для устройств, работающих в условиях пониженных



температур (вплоть до криогенных), и для корпусов микросборок, где требуется спай стекла с металлом. Для этих целей рекомендуется использовать сплавы: ВТ1-00, ВТ-0, QT-4-1, ОТ4, ВТ5, ВТ5-1.

Таблица 4.7

Сплав	$\rho_B$ , МПа	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$P \cdot \Gamma / \text{CM}^3$	$\delta_{уд}$	$E_{уд}$	Кобщ
МА18	185	45	1,5	123	30	3690
МА21	240	46	1,5	160	30,6	4896
МЦИ	170	40	1,9	94	21	1978,9
МА8	280	42	1,78	123	23,5	2890,5
МА2-1	270	43	1,78	151,6	24,1	3653,6
МА2	260	43	1,79	145,2	24	3484,8
МЛ4	250	42	1,83	136,6	22,9	3135,0
МЛ6	250	42	1,81	138,1	23,2	3204,5
МЛ9'	250	42	1,76	142,0	23,8	3388,6
МЛЮ	226	41	1,78	126,9	23,0	2922,9

В конструкциях самолетной и бортовой аппаратуры широкое применение находят полимерные композиционные материалы (КМ) с неметаллической матрицей. По сравнению со сплавами металлов они имеют ряд преимуществ:

меньшую массу, повышенные прочность, жесткость и теплостойкость. Из большого числа существующих КМ наиболее перспективными для авиационной аппаратуры являются КМ на основе углеродных волокон, т.е. углепластики. Кроме перечисленных достоинств, они обладают еще рядом преимуществ: коррозионной стойкостью, электропроводностью, малым коэффициентом линейного расширения, высокой демпфирующей способностью и значительно превосходят металлы по вибропрочности. В табл 4.8 приведены основные характеристики наиболее распространенных углепластиков: КМУ-1Л на основе углеродной ленты; КМУ-1У на основе углеродного жгута; КМУ-1В на основе углеродного жгута, вискоризированного нитевидными кристаллами. Их теплостойкость — до 100 °С. Для более высоких температур (до 300 °С ) применяются углепластики марок КМУ-2, КМУ-2Л.

Еще более высокой теплостойкостью (до 2000 °С ) обладает углепластик с углеродной матрицей марки КУП-ВМ.

Таблица.4.8

Параметр	Углепластики					Бороволокниты		
	КМУ-1Л	КМУ-1У	КМУ-1В	КУП-ВМ	КМБ-Ш	КМБ-1К	КМБ-2К	КМБ-3К
$P, \text{т/см}^3$	1,4	1,47	1,55	1,35	2,1	2,0	2,0	2,0
$\delta^{\wedge} \text{Па}$	0,65	1,02	1,0	0,2	1,3	0,9	1,0	1,3
$\delta^{\wedge} \text{Па}$	0,35	0,4	0,54	0,26	1,16	0,92	1,25	1,5
$\delta \gg \text{Ша}$	0,80	1,10	1,20	0,64	1,75	1,25	1,55	1,45

<i>Е.ГПа</i>	120	180	180	165	270	214	260	260
<i>Е^Гпа</i>	103	145	160	160	250	223	215	238
<i>δуь</i>	46,4	693	645	148	619	450	500	650
<i>Еуд</i>	85,7	122,3	116,1	122,2	128,5	107	130	130
<i>Кобиц</i>	3978	84857	74900	18088	79585	48150	65000	84500

Элементы конструкций из углепластиков изготавливаются несколькими методами, например мокрой намоткой, когда жгуты или ленты пропитываются связующим составом в процессе укладки. Другой метод связан с пропиткой связующим составом под давлением, когда заготовку из сухого наполнителя пропитывают в замкнутой форме и затем формуют деталь при повышенном давлении и температуре. Метод выбирается в зависимости от геометрических особенностей детали. Наиболее технологичным является углепластик КМУ-3, для которого температура и давление формообразования минимальны.

Еще более высокими механическими свойствами обладают борволокониты на основе борного волокна. От углепластиков они выгодно отличаются сочетанием таких свойств, как высокое сопротивление сжатию, срезу, сдвигу, низкая ползучесть, высокая твердость и модуль упругости. Борволокониты КМБ-1 и КМБ-1К предназначены для длительной работы при температуре до 200 °С Борволоконит КМБ-2К сохраняет высокие механические свойства до 300 °С. Материалы КМБ-3 и КМБ-3К содержат эпоксидный связующий состав и отличаются наиболее высокими механическими свойствами, технологичностью, низким давлением при формообразовании, но их рабочая температура не превышает 100 °С.

## *5. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ 5.1. Содержание сборочных чертежей*

Сборочным называется чертеж, содержащий изображения сборочной единицы и другие данные для ее сборки (изготовления) и контроля. Сборочный чертеж должен содержать:

- 1) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы;
- 2) размеры и предельные отклонения их и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены по данному сборочному чертежу;
- 3) указания о характере сопряжения разъемных частей и методах его осуществление. На чертеже могут быть приведены указания о способе соединения неразъемных частей (пайка, склеивание и т.п.);
- 4) номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- 5) габаритные размеры изделия;
- 6) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;
- 7) координаты центра масс (при необходимости);
- 8) технические требования к изделию помещаются над основной надписью чертежа и не должны выходить за размер основной надписи (185 мм). В случае необходимости, если технические требования не укладываются над основной надписью, разрешается помещать их с левой стороны основной надписи (с соблюдением размера 135 мм).

## *5.2. Разработка сборочных чертежей*

Полнота изображения изделия на сборочном чертеже определяется наличием необходимых видов, разрезов, сечений и выносных элементов.

Число видов должно быть минимальным, но достаточным для полного представления об устройстве изделия.

Сборочные чертежи в большинстве случаев выполняют с видами, разрезами, позволяющими выявить характер установки радиоэлементов и других деталей изделия.

На сборочном чертеже наименования радиоэлементов, составляющих «обстановку» их в изделии и соответствующих обозначению на схеме электрической принципиальной, помещают непосредственно на изображении радиоэлементов.

Сборочные чертежи следует выполнять, как правило, с упрощениями, соответствующими требованиями стандартов ЕСКД. На сборочных чертежах допускается не показывать:

- 1) фаски, проточки, округления, надписи и другие мелкие элементы;
- 2) зазоры между отверстиям и деталью, которая входит в это отверстие;
- 3) винты, гайки, шайбы и т.п., в этом случае их изображают упрощенно;
- 4) изделия (детали), которые изготовлены из прозрачного материала, изображают как непрозрачные.

### *5.3 Простановка размеров на сборочном чертеже*

На сборочном чертеже проставляют:

- 1) габаритные размеры, характеризующие высоту, длину и ширину изделия или его наибольший диаметр;
- 2) установочные и присоединительные размеры, определяющие расположение и размеры элементов, по которым их устанавливают на месте монтажа;
- 3) эксплуатационные размеры, указывающие на расчетную и конструктивную характеристику изделия;
- 4) указывают размеры отверстий под винты, болты, и т.п., если эти отверстия выполняют в процессе сборки.

Если необходимо показать положение центра масс изделия, то на чертеже приводят соответствующие размеры и на полке выноски помещают надпись «Ц.М.».

### *5.4 Нанесение номеров позиций составных частей*

Все составные части сборочной единицы на чертеже нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации, т.е. вначале заполняют спецификацию, а потом переносят номера позиций на сборочный чертеж изделия.

Номера позиций указывают на полках линий-выносок, которые выполняют тонкими сплошными линиями и заканчивают на изображении детали утолщением в форме точки. Номера позиций на чертеже располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют их в строчку или колонку на одной линии. Номера позиций проставляют лишь один раз независимо от количества элементов.

Допускается проводить общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций для группы крепежных деталей (винт, гайка, шайба), относящихся к одному и тому же месту крепления.

### *5.5 Спецификация*

Спецификация — документ, определяющий состав сборочной единицы, является обязательным основным документом.

Спецификация определяет состав изделия и необходима для его изготовления, комплектования конструкторских документов и планирования запуска в производство.

В спецификацию вносят составные части, которые входят в изделие, и конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и его составным частям, не входящим в данную спецификацию.

В общем случае спецификация состоит из разделов, которые располагают в такой последовательности: 1) документация; 2) комплексы; 3) сборочные единицы; 4) детали; 5) стандартные изделия; 6) прочие изделия;

7) материалы; 8) комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия.

В раздел «Документация» вносят документы, которые составляют основной комплект

конструкторских документов изделия (например, сборочный чертеж, схема электрическая структурная, схема электрическая принципиальная и др.).

В разделы «Сборочные единицы» и «Детали» вносят сборочные единицы и детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. Запись указанных изделий рекомендуется производить в алфавитном порядке сочетания букв кодов, присвоенных деталям (обозначений). В пределах этих кодов — в порядке возрастания классификационной характеристики.

В разделе «Стандартные изделия» записывают изделия, применяемые:

1) по государственным стандартам; 2) отраслевым стандартам. В пределах каждой категории стандартов запись производят по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (например, резисторы, конденсаторы, крепежные изделия в т.д.), в пределах каждой группы — в алфавитном порядке наименований изделий; в пределах каждого наименования — в порядке возрастания обозначения стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта — в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

Например, группу «Крепежные детали» записывают в таком порядке:

болты, винты, гайки, шайбы, шпильки, а в пределах каждого наименования — по возрастанию номеров стандартов; в пределах каждого номера стандарта — по возрастанию параметров изделия, т.е. их диаметров, и т.п.

В раздел «Прочие изделия», примененные не по основным конструкторским документам (по техническим условиям, каталогам и т.п.), за исключением стандартных изделий. Запись изделий производят по однородным группам; в пределах каждой группы — в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования — в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. В раздел «Материалы» не записывают те материалы, необходимое количество которых не может быть определено конструктором, а назначаются технологом.

Фигуры	Виды	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
				<u>Документация</u>		
A3			ВЦИР. XXXXXX 001 СБ	Сборочный чертеж		
A4			ВЦИР XXXXXX 001 ЭЗ	Схема электрическая принципиальная		
				<u>Детали</u>		
A7	1		ВЦИР XXXXX 010	Плата	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
	2			Винт А М3-Бх10 В.019 ГОСТ 17473-80	2	
	3			Гайка М3-БН.5.019 ГОСТ 5915-70	2	
	4			Шайба 3 01 08кл.019 ГОСТ 11371-78	2	
	5			Шайба 3 03.019 ГОСТ 13463-77	2	
				<u>Прочие изделия</u>		
				Конденсаторы ОЖО.460 1617У		
	6			КМ-56-М47-680 пФ ±10%	5	ст. С5
	7			КМ-65-М47-0,47 мкФ ±10%	1	С6
	8			Микроплата К155АГ3 БКО.348.006-5073	4	043.М1
<b>ВЦИР. XXXXXX. 001</b>						
Изм	Лист	№ докум	Лист	Дата	<b>Устройство сопряжения</b>	
Разраб						
Проб						
И. Контр						
Введ					Лист	Лист
					01	1 2
Изм	Лист	№ докум	Лист	Дата	Лист	
					119	

Рис. 5.1. Пример оформления сборочного чертежа

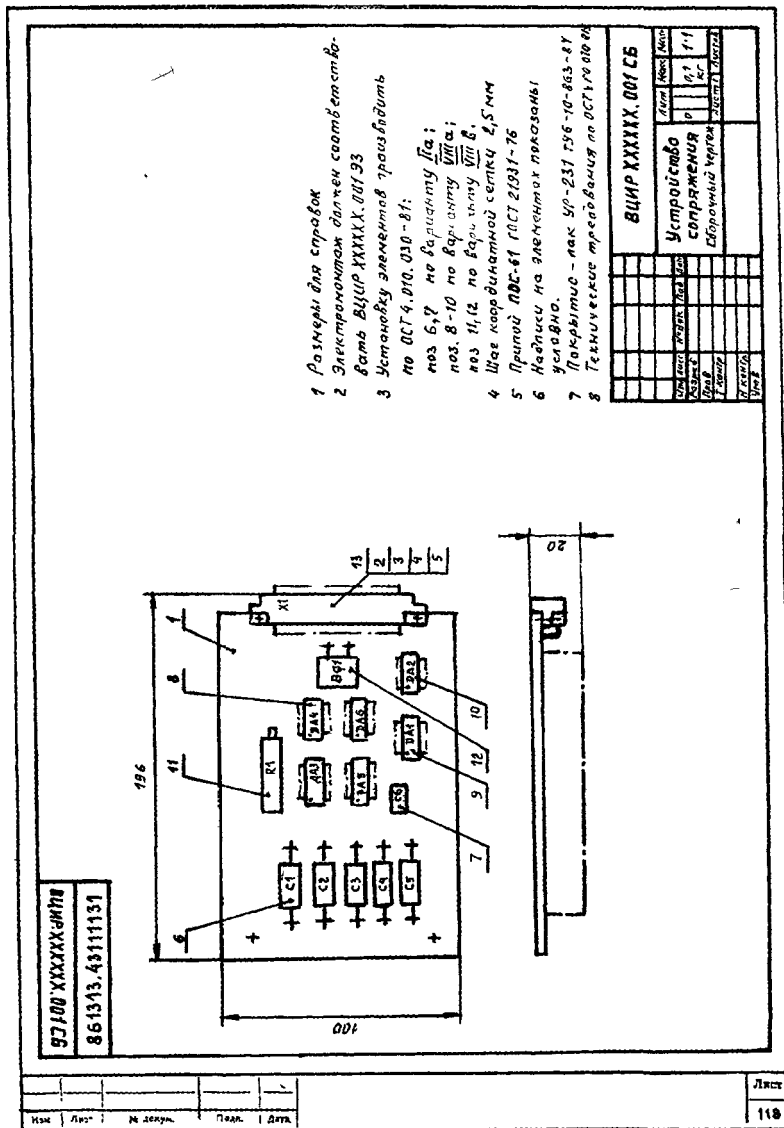


Рис. 5.2. Пример спецификации к сборочному чертежу

геометрические размеры корпуса конструкции  $L_x, L_y, L_z$ , коэффициент заполнения объема конструкции  $k_3$ ; время непрерывной работы конструкции  $T$ .

Перечисленные исходные данные, за исключением коэффициента заполнения конструкции, обычно указываются в техническом задании на разработку и известны. Коэффициент заполнения может быть выбран на основе опыта конструирования подобных РЭС.

Поскольку графики (рис. 6.1) справедливы лишь для стационарного режима, то необходимо знание времени непрерывной работы для определения режима.

Пределы изменения давления окружающей среды задают условия, при которых тепловой режим является наиболее тяжелым.

Основным показателем, определяющим области целесообразного применения способа охлаждения на рис. 6.1, служит плотность теплового потока

$$P_s = \frac{PK_n}{S_k},$$

где  $K_u$  — коэффициент, учитывающий давление окружающей среды;

$S_K = 2[L_x L_y + (L_x + L_y)L_z L_s]$  — площадь поверхности теплообмена.

Вторым показателем является допустимый перегрев в конструкции А

$$t_{\text{дон}} = t_{\text{min}} - t_c,$$

где  $At_{\text{дон}}$  — допустимая рабочая температура наименее теплостойкого радиоэлемента;  $t_c$  — температура окружающей среды.

Для естественного воздушного охлаждения  $t_c = t_{c \text{ max}}, T^{\circ}\text{C}$ .

соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ. Для принудительного охлаждения  $t_c = t_{\text{ax}}$ , т.е. соответствует температуре

воздуха (жидкости) на входе системы охлаждения.

Значения  $Ps$  и  $At_{\text{дон}}$  являются координатами точки, попадающей в одну из областей на рис. 6.1, каждой из которых соответствует один или несколько способов охлаждения.

Незаштрихованные области на рис. 6.1 относятся к следующим способам охлаждения: 1 — естественное воздушное, 3 — принудительное

воздушное, 5 — принудительное жидкостное, 9 — принудительное испарительное.

Заштрихованные области допускают использование нескольких способов охлаждения: 2 — естественное и принудительное воздушное, 4 — принудительное воздушное и жидкостное, 6 — принудительное жидкостное и

## 6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА 6.1. Выбор способа охлаждения на ранних стадиях разработки

В виду того, что способ (система) охлаждения в значительной мере определяет структуру конструкции РЭС, уже на ранних стадиях разработки важно правильно выбрать способ охлаждения. Выбранный способ охлаждения должен обеспечить нормальный тепловой режим конструкции РЭС.

Если в выборе способа охлаждения будет допущена ошибка, то труд большого коллектива разработчиков окажется напрасным, а сроки разработки конструкции и ее стоимость существенно возрастут. Поскольку на ранних стадиях разработчики располагают минимальной информацией о конструкции, то становится очевидной ответственность и одновременно сложность задачи выбора системы охлаждения.

При решении практических задач выбор системы охлаждения производится по графикам (рис. 6.1), которые ограничивают области целесообразности применения того или иного способа охлаждения. Эти области построены по результатам обработки статистических данных о показателях тепловых режимов реальных конструкций РЭС, расчетов показателей тепловых режимов по тепловым моделям и экспериментальных данных, полученных на макетах.

Исходными данными для выбора системы охлаждения служат: тепловой поток  $P$ , рассеиваемый конструкцией; диапазоны возможного изменения

температуры окружающей среды  $t_{c \text{ min}} \dots t_{c \text{ max}}$ ; пределы изменения давления

окружающей среды  $H_{\text{min}} \dots H_{\text{max}}$ ; допустимые рабочие температуры элементов  $t_{\text{г}}$ ;

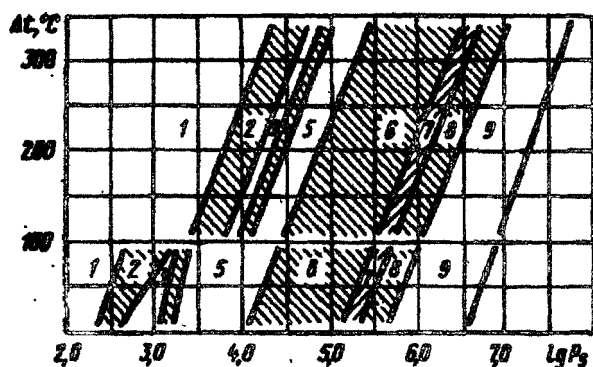


Рис. 6.1. Диаграмма выбора системы охлаждения естественное испарительное, 7 — принудительное жидкостное, принудительное и естественное испарительное, 8 — естественное и принудительное испарительное.

Графики на рис. 6.1, соответствующие  $\Delta t > 100\text{ }^\circ\text{C}$ , используются для выбора способа охлаждения больших элементов (трансформаторов, дросселей, транзисторов на радиаторах и т.п.), поскольку допустимые температуры их поверхностей относительно высоки. Нижняя часть диаграммы применяется для выбора способа охлаждения блоков и устройств РЭС.

Если показатели  $Ps$  и  $At_{don}$  для конкретной РЭА (МЭА) попадают в не заштрихованные области на рис. 6.1, то способ охлаждения определяется однозначно.

Для заштрихованных областей, где возможно использование двух или трех различных способов охлаждения, задача выбора того или иного способа усложняется. Чтобы найти правильное решение, необходимо воспользоваться

вероятностными кривыми, которые связывают показатели  $Ps$ ,  $At_{don}$  и вероятности обеспечения заданного теплового режима при различных условиях теплообмена.

Если геометрические размеры конструкции не заданы, то площадь поверхности теплообмена можно найти приближенно, используя сведения об элементной базе конструкции и коэффициенты дезинтеграции массы или объема. Задача сводится к ориентировочному определению объема конструкции, через который вычисляется площадь поверхности. Один из возможных путей решения задачи состоит в следующем: через массу

радиоэлементов  $m_{эл}$  и коэффициент дезинтеграции массы находят массу конструкции  $m_k = q_m m$ , затем определяют объем конструкции

$$V_k = \frac{m_k}{m_0}, \text{ где } m_0 \text{ — плотность конструкции, и площадь поверхности}$$

корпуса  $V_k = \delta(Vk)^{2/3}$ . Если известны данные о суммарном установочном объеме радиоэлементов  $V_{эл}$ , то объем конструкции  $V_k = qvV_{эл}$ , где  $qv$  — коэффициент дезинтеграции объема.

## 6.2. Основы расчета радиаторов

В кондуктивных системах охлаждения функции теплообменников с окружающей средой часто выполняют радиаторы — элементы системы охлаждения с развитой поверхностью теплообмена. Поверхность теплообмена радиаторов увеличивается за счет их ребрения. С поверхности ребер тепловой поток передается в окружающее пространство конвекцией и излучением. При этом величина теплового потока определяется выражением

$$P = a_{\Sigma} K_p S_p (t - t_c),$$

где  $a_{\Sigma}$  — коэффициент теплопередачи;  $K_p$  — коэффициент эффективности ребра,  $S_p$  — площадь поверхности радиатора;  $t$  — среднеповерхностная температура радиатора;  $t_c$  — температура окружающей среды. Эквивалентный коэффициент теплопередачи  $a_{\Sigma}$  обусловлен

кондуктивной теплопередачей через слой краски или покрытия на поверхности радиатора, а также конвективной теплопередачей и излучением с поверхности. Таким образом,

$$a_{\Sigma} = 1 / (1 / (\alpha_k + \alpha_l + \delta_n / \lambda_n)),$$

где  $\alpha_k, \alpha_l$  — коэффициенты теплопередачи конвекцией и излучением;



$\lambda_{II}$  — коэффициент теплопроводности покрытия;  $\delta_n$  — толщина покрытия.

Коэффициент эффективности ребра характеризует температурный перепад по высоте ребра  $h$  (рис. 6.2):

$$K_p = \frac{th(mh)}{(mh)},$$

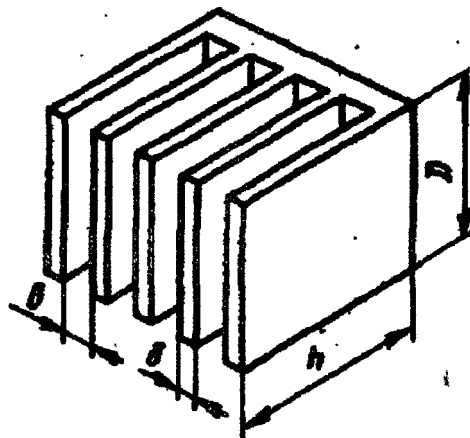


Рис. (.2. Ребристый радиатор воздушного охлаждения

$$\text{где } m = \sqrt{\frac{aU}{\lambda F}}$$

параметр, характеризующий форму ребра ( $a = a_k + a_n$ );

$U$  — периметр сечения ребра;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала ребра,  $F$  — площадь поперечного сечения ребра).

Если на поверхности нет оребрения, то коэффициент

эффективности ребра  $K_p = 1$ .

Конвективный коэффициент теплопередачи Доопределяется по критериальным уравнениям . При этом характерный размер конструкции

радиатора  $L = b/2$ , где  $b$  — расстояние между ребрами.

Для пластинчатого радиатора с вертикально ориентированными ребрами критерий Нуссельта рассчитывается по формулам:

$$Nu = 1,4 \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{0,113GrL}{D}\right) + \frac{0,33GrL}{D}} - \left(1 + \frac{0,113GrL}{D}\right) \right] \text{ при } \frac{GrL}{D} < 7,$$

$$Nu = 0,64 + \frac{0,23GrL}{D} \text{ при } 7 < \frac{GrL}{D} < 20,$$

$$Nu = 0,5 \frac{GrL}{D} \text{ при } \frac{GrL}{D} \geq 20,$$

где  $D$  — длина ребра радиатора (см. рис. 6.2).

Расчет радиаторов заключается в определении параметров конструкции при заданном перегреве поверхности (проектный расчет) или в определении перегрева поверхности при известных геометрических размерах радиатора (поверочный расчет). Задача решается методом последовательных приближений.

Пластинчатые радиаторы изготавливаются в виде вырубных плоских или объемных конструкций простейшей формы. Они применяются тогда, когда коэффициент теплопередачи составляет  $a = 1... 2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{г}$ .

Выбор типов радиаторов при естественной конвекции ориентировочно может быть произведен по графику (рис 6.3), исходя из мощности  $P$ , выделяемой теплонагруженным элементом.

Для изготовления радиаторов обычно применяют алюминий, магний и их сплавы в виде штампованных (алюминий и его сплавы) или литых деталей, крашенных или оксидированных в черный цвет с матовой поверхностью для увеличения теплоотдачи за счет излучения. Эффективность радиаторов составляет 3.. 10 раз.

Для обеспечения электрической изоляции лучше изолировать радиатор, чем полупроводниковый прибор.

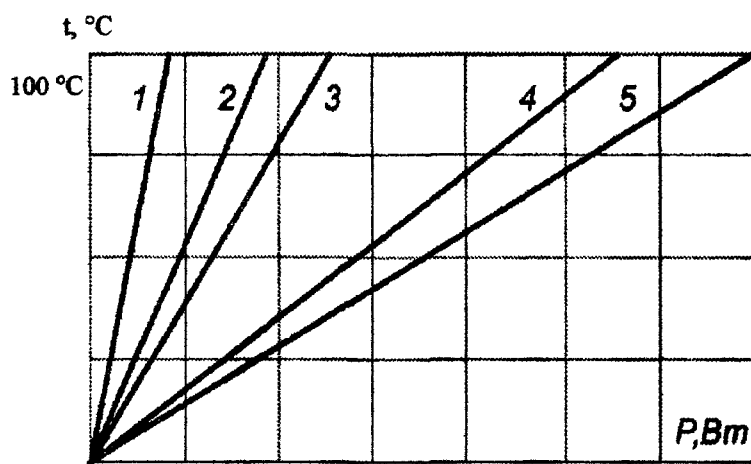


Рис. 6.3 Ориентировочный выбор конструкции радиатора: 1 — без радиатора; 2 — пластинчатые; 3 — штампованно-сварные; 4 — штырьевые ; 5 — игольчато-спиральные

### 6.3. Предварительный выбор способа охлаждения конструкции

Необходимые исходные данные:

> суммарная мощность  $P$ , рассеиваемая всеми элементами конструкции, Вт

$$P = \sum_{i=1}^N P_i,$$

где  $P_i$  — мощность, рассеиваемая одним элементом;  $N$  — число элементов конструкции;

> геометрические размеры корпуса  $L_x, L_y, L_z, \text{CM}$ ;

> коэффициент заполнения объёма конструкции  $K_y$ ;

$$P_s = \frac{P}{S_k}, \quad 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} < P_s < 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$$

6.3.1 Рассчитать плотность теплового потока,  $\text{Вт}/\text{см}^2$ , по формуле

$$S_k = 2(L_x L_y + (L_x + L_y)L_y K_y), \text{ см}^2.$$

где  $S_k$  — площадь поверхности теплообмена

6.3.2 Если  $P_s < 0,2 \text{ Вт}/\text{см}^2$  то достаточно естественного воздушного охлаждения,

—требуется естественная вентиляция конструкции,

$$0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} < P_s < 1 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$$

охлаждение, — необходимо принудительное воздушное

$1 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} < P_s < 20 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$  — применяются жидкостные системы охлаждения.

6.4. Расчёт теплового режима конструкций РЭС с естественным воздушным охлаждением

Необходимые исходные данные:

> суммарная мощность  $P$ , рассеиваемая всеми элементами ПП, Вт;

> геометрические размеры корпуса  $L_x, L_y, L_z, \text{ м}$  ( $L_x > L$ );

> температура окружающей среды  $t_c, \text{ }^\circ\text{C}$  (обычно берётся равной максимальной рабочей температуре, заданной в ТУ);

> размеры печатной платы  $a \times b$ , устанавливаемой в корпусе РЭС, м ( $a > b$ );

> коэффициент заполнения объёма конструкции  $K_y$ ;

> средняя высота ЭРЭ печатной платы, м;

> степень черноты поверхности корпуса  $\epsilon$  (см. табл. 6.3);

6.4.1 Определение температуры корпуса конструкции РЭС ( $t_k$ ). |6.4.1.1, Площадь поверхности корпуса

$$S_k = 2(L_x L_y + L_x L_z + L_y L_z), \text{ м}^2.$$

6.4.1.2. Характерный размер конструкции:

6.4.1.3. а) Произвольно задаётся перепад  $\Delta t_k = 10 \sqrt{\epsilon} \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

б) Вычисляется предварительная температура корпуса

$$L = \sqrt{\frac{S_k}{6}}, \text{ м}.$$

$$t_k = t_c + \Delta t_k, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.4.1.4, Среднее значение температуры окружающей среды'

$$t_{cp} = 0,5(t_c + t_k), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.4.1.5. По таблице 6.1 определяем теплофизические параметры сухого воздуха при температуре  $t_{cp}$ ,

Таблица 6.1.

$t_{cp}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$\lambda \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	$Pr$
-50	1,584	2,04	9,23	0,728
-20	1,395	2,28	12,79	0,716
0	1,293	2,44	13,28	0,707
+10	1,247	2,51	14,16	0,705
+20	1,205	2,60	15,06	0,703
+30	1,165	2,68	16,00	0,701
+40	1,128	2,76	16,96	0,699
+50	1,093	2,83	17,95	0,698
+60	1,060	2,90	18,97	0,696
+70	1,029	2,97	20,02	0,694
+80	1,000	3,05	21,09	0,692
+90	0,972	3,13	22,10	0,690
+100	0,946	3,21	23,13	0,688

где  $\rho$  — плотность воздуха;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;

$Pr$  — критерий Прандтля.

6.4.1.6. Коэффициент объёмного расширения воздуха:

$$\beta = \frac{1}{(t_{cp} + 273)}, \text{ } K^{-1}.$$

$$Gr = \beta g \frac{L^3}{\nu^2} (t_k - t_c).$$

6.4.1.7. Критерий Грасгофа

6.4.1.8. Находим произведение ( $Gr \cdot Pr$ ). Из таблицы 6.2 определяем режим движения воздуха, коэффициенты теплообмена  $Cup$ .

Значения ( $Gr \cdot Pr$ )	$C$	$n$	Режим движения газа (жидкости)
менее $10^{-3}$	0,5	0	Пленочный поток
$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8	Ламинарный поток
$5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4	Переходный режим
более $2 \cdot 10^7$	0,13 6	1/3	Вихревой (турбулентный) режим

#### 6.4.1.9. Критерий Нуссельта

$$Nu = C(Gr Pr)^n$$

#### 6.4.1.10. Коэффициент теплопередачи конвекцией

$$a_k = \frac{Nu \lambda_g}{L}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$$

#### 6.4.1.11. Коэффициент теплопередачи излучением

$$a_u = C_0 \varepsilon \frac{\left[ \frac{t_k + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{t_c + 273}{100} \right]^4}{t_k - t_c}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$$

где  $C_0 = 5,670 \frac{Вт}{м^2 \cdot K^2}$  — коэффициент излучения абсолютно чёрного тела;

$\varepsilon$  — степень черноты поверхности корпуса (выбирается из таблицы 6.3)

Таблица 6.3

Материал и состояние поверхности	Степень черноты, $\varepsilon$
1	2
Алюминий (сильно окислен)	0,2...0,31
Силуминовое литьё (в песчаной форме)	0,33... 0,31
Силуминовое литьё (в кокильной форме)	0,16... 0,23
Дюралюминий Д16	0,37... 0,41
Сталь полированная	0,066

Окончание табл. 6.3

1	2
Сталь листовая холоднокатаная	0,075 ... 0,085
Сталь листовая сильно окисленная	0,8... 0,82
Латунь прокатанная	0,06
Латунь тусклая	0,22
Латунь хромированная полированная	0,075
Медь шабрённая до блеска	0,072
Олово, лужёное кровельное железо	0,07... 0,08
Цинк, оцинкованное железо	0,23 ... 0,27
Краски эмалевые, лаки различных цветов	0,92
Краски матовые различных цветов	0,92 ... 0,96
Лак чёрный матовый	0,96... 0,98
Муар серый, чёрный	0,86... 0,9
Краска защитно - зелёная	0,9
Краска бронзовая	0,51
Краска алюминиевая	0,28
Алюминиевая фольга	0,09

6.4.1.12. Эквивалентная тепловая проводимость между корпусом и средой

$$\delta = (a_k + a_u) S_k, \frac{Bm}{^{\circ}C}, \quad \Delta t_k' = \frac{P}{\delta}, ^{\circ}C,$$

6.4.1.13. Реальный перегрев корпуса блока

6.4.1.14. Проверить неравенство  $|At_k - Ai_k|, < 1^{\circ}C$ ; если неравенство верно, то перейти к п.6.4.1.15, в ином случае повторить расчеты по п.6.4.1.3(6) - 6.4.1.13, принимая за начальную величину перегрева корпуса блока  $t_k$  значение, полученное на предыдущем шаге вычисления  $At_k$  (рекуррентный метод).

6.4.1.15. Искомая температура корпуса конструкции

$$t_k = t_c + \Delta t_k, ^{\circ}C.$$

6.4.2. Определение температуры внутри корпуса конструкции ( $t_{вн}$ )

6.4.2.1. При малой толщине стенки корпуса (1-2 мм), выполненной из металлических сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности,

обычно принимают  $t_k = t_{вн}$

6.4.2.2 В случае, если корпус (или хотя бы одна из его стенок, напр. передняя панель) выполнен не из металлических сплавов, то рассчитывают:

> тепловую проводимость стенок корпуса

$$\delta_{ск} = \frac{\lambda}{\delta} S, \frac{Bm}{^{\circ}C},$$

где  $\lambda$  — теплопроводность неметаллического материала корпуса;

(теплофизические характеристики органических материалов см. в табл. 6.4),  $\delta$  — толщина стенки;  $S$  — суммарная площадь неметаллических стенок корпуса;

> температуру внутри корпуса  $t_{вн} = t_x + \frac{P}{\delta_{ск}}, ^{\circ}C.$

Таблица 6.4

Марка материала	ТКЛР $a \cdot 10^6, 1/К$	$\lambda \cdot 10^{-2}$ , Вт/(м.°С)	Температура размягчения, °С
Полиэтилен ПЭНД 203 — 05	2,5... 5,5	42...44	120...125
Полиэтилен МОПЭНД 222 — 03	2,0	37...42	132...135
Полистирол ПСМ — 115	6,0 ...8,0	9...14	80...82
Фторопласт — 42 — ЛД — 1	9,0... 12,0	17...24	150...160
Поликарбонат ПК — 4	2,5...6,0	20	220,..240
Фенопласт 03 — 010—02	4,5...5,3	21...23	125...140
Фенопласт У5 — 301 — 41	2,5...2,8	52	100...160
Фенопласт Э6 — 014 — 30	1,9...3,6	31...38	135...250
Аминопласт КФ — 2А	2,5...5,3	21...27	100
Полиамид 610 — 1 — 101	2,0... 14,0	24	213...221
Резина ИРП— 1346	7,0...23,0	16	—
Резина ИРП— 3032	6,4...24,0	19	—
Резина ИРП—1316	6,2...24,0	19	—

### 6.4.3. Определение температуры в центре нагретой зоны ( $t_{ВН}$ )

6.4.3.1. Конвективно-кондуктивная тепловая проводимость между нагретой зоной и внутренней стенкой корпуса

$$\delta_{СК} = \frac{k_{П} \lambda_{в} (S_3 + S_{РК})}{l_{СР} \cdot 2}, \frac{Вт}{^{\circ}С},$$

где  $S_3 = 2(ab + ah + bh)$  — площадь поверхности нагретой зоны,  $м^2$ ;

$k_{П}$  — поправочный коэффициент на конвективный теплообмен в условиях ограниченного пространства;

$k_{П} = 1$ , если произведение  $GrPr < 10^3$ ;

$k_{П} = 0,18(GrPr)^{0,25}$ , если произведение  $GrPr > 10$ ;

« $l_{о}$ » — среднее расстояние между нагретой зоной и корпусом РЭА, которое можно оценить по любой из следующих формул

$$l_{СР} = \sqrt[3]{\frac{(L_x - a)(L_y - b)(L_z - h)}{6}}, \text{ м},$$

$$l_{СР} = \frac{(L_x + L_y + L_z) - (a + b + h)}{6}, \text{ м}.$$

6.4.3.2. Проводимость теплопередачи от нагретой зоны к стенке корпуса

$$\text{излучением } \delta_u = a_u S_3, \text{ где } a_u = 7 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^{\circ}С}.$$

6.4.3.3. Температура в центре нагретой зоны

$$t_3 = t_{вн} + \frac{P}{1,1(\delta_K + \delta_H)}, ^{\circ}С.$$

## 6.5. Расчёт теплового режима конструкций РЭС с естественной вентиляцией

Необходимые исходные данные:

> суммарная мощность  $P$ , рассеиваемая всеми элементами ПП, Вт;

- > геометрические размеры корпуса  $L_x, L_y, L_z$  м ( $L_x > L_y$ );
- > температура окружающей среды  $t_c$ , °C (обычно берётся равной максимальной рабочей температуре, заданной в ТУ);
- > размеры печатной платы  $a \times B$ , устанавливаемой в корпусе РЭС, м ( $a > B$ );
- > коэффициент заполнения объёма конструкции  $K_v$  ;
- > средняя высота ЭРЭ печатной платы, м;
- > степень черноты поверхности корпуса  $\epsilon$  (см. табл.6,3). 6.5.1. Определить температуру в центре нагретой зоны ( $t_3$ );

#### 6.5.2. Перегрев центра нагретой зоны

$$\Delta t_3 = t_3 - t_c, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.5.3. Коэффициент перфорации корпуса блока РЭА где  $S$  — суммарная площадь отверстий в стенке корпуса, мм;

$L^{\wedge}, L^{\wedge}$  - геометрические размеры стенки, мм,

#### 6.5.4. Поправочный коэффициент $C_{II}$ ;

$$C_{II} = 3,194546K_{II}^4 - 8,661549K_{II}^2 + 8,647289K_{II}^2 - 3,878676K_{II} + 0,989584$$

(данная функция является интерполяцией графической зависимости).

#### 6.5.5. Перегрев центра нагретой зоны с учётом наличия естественной вентиляции

$$\Delta t_{EB} = C_{II} \Delta t_3, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

#### 6.5.6. Температура в центре нагретой зоны

$$t_3 = t_c + \Delta t_{EB}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.6. *Расчёт теплового режима конструкций РЭС в условиях принудительного воздушного охлаждения*

Необходимые исходные данные:

- > суммарная мощность  $P$ , рассеиваемая всеми элементами ПП, Вт;
- > геометрические размеры корпуса  $L_x, L_y, L_z$ , м ( $L_x > L_y$ );
- > температура окружающей среды  $t_c$ , °C (обычно берётся равной максимальной рабочей температуре, заданной в ТУ);
- > размеры печатной платы  $a * B$ , устанавливаемой в корпусе РЭС, м ( $a > B$ );
- > коэффициент заполнения объёма конструкции  $K_v$ ;
- > средняя высота ЭРЭ печатной платы, м;
- > степень черноты поверхности корпуса  $\epsilon$  (см. табл.3);
- > объёмный расход воздуха  $G_v$  в системе охлаждения,  $M^3/C$

6.6.7. Определение температуры корпуса конструкции РЭС ( $t_k$ ). 6.6.1.1. Площадь поверхности корпуса

$$S_k = 2(L_x L_y + L_x L_z + L_y L_z), \text{ } M^2.$$

#### 6.6.1.2. Характерный размер конструкции

$$L = \sqrt{\frac{S_k}{6}}, \text{ } M.$$

6.6.1.3. а) Произвольно задаётся перегрев корпуса  $\Delta t_k = 10 \dots, 30^\circ\text{C}$ . б) Вычисляется предварительная температура корпуса  $t_k = t_c + \Delta t_k, \text{ } ^\circ\text{C}$ .



6.6.1.4. Среднее значение температуры окружающей среды

$$t_{CP} = 0,5(t_c + t_k), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.6.1.5. По таблице 6.1 определяем теплофизические параметры сухого воздуха при температуре  $t_y$ .

6.6.1.6. Коэффициент объемного расширения воздуха

$$\beta = \frac{1}{(t_{CP} + 273)}, \text{ } K^{-1}.$$

6.6.1.7. Критерий Грасгофа  $Gr = \beta g \frac{L^3}{\nu^2} (t_k - t_c)$ .

$$A_{CP} = A_k (1 - K_V), \text{ } \text{м}^2,$$

6.6.1.8. Площадь среднего сечения потока где  $A_k$  — площадь сечения корпуса конструкции в направлении, перпендикулярном потоку воздуха,  $\text{м}^2$ .

6.6.1.9. Скорость принудительного движения воздуха

$$Re = \frac{v L_p}{\nu}, \text{ } \text{м/с}.$$

6.6.1.10. Критерий Рейнольдса

где  $L_p$  — размер ПП в направлении, параллельном потоку воздуха, м;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости (см. табл.6.1),  $\text{м}^2/\text{с}$  6.6.1.11. Критерий Нуссельта

$$Nu = 0,57 Re^{0,5}, \text{ если } Re < 5 \cdot 10^5;$$

$$Nu = 0,032 Re^{0,8}, \text{ если } Re \geq 5 \cdot 10^5$$

6.6.1.12. Коэффициент теплопередачи конвекцией

$$a_k = \frac{Nu \lambda_a}{L}, \text{ } \frac{Вт}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})},$$

где  $\lambda_a$  — коэффициент теплопроводности воздуха (см. табл.6.1),  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ .

6.6.1.13. Коэффициент теплопередачи излучением

$$a_u = C_0 \varepsilon \frac{\left[ \frac{t_k + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{t_c + 273}{100} \right]^4}{t_k - t_c}, \text{ } \frac{Вт}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})},$$

где  $C_0 = 5,670 \frac{Вт}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^2}$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела;

$\varepsilon$  — степень черноты поверхности корпуса (выбирается из таблицы 6.3).

6.6.1.14. Эквивалентная тепловая проводимость между корпусом и средой

$$\delta = (a_k + a_u) S_k, \text{ } \frac{Вт}{^\circ\text{C}}.$$

6.6.1.15. Реальный перегрев корпуса блока

$$\Delta t'_k = \frac{P}{\delta}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.6.1.16. Проверить неравенство  $|At_k - Ai_k| < 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; если неравенство, верно, то перейти к п.6.6.1.17, в ином случае повторить расчёты по п.6.6.1.3(6) — 6.6.1.15, принимая за начальную величину перегрева корпуса блока  $At_k$

значение, полученное на предыдущем шаге вычисления  $At_k$  (рекуррентный метод).

6.6.1.17. Искомая температура корпуса конструкции

$$t_k = t_c + \Delta t_k, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6.6.2. *Определение температуры внутри корпуса конструкции  $t_{вп}$*

6.6.2.1. При малой толщине стенки корпуса (1 — 2 мм), выполненной из металлических сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности,

обычно принимают  $t_k = t_{вп}$ .

6.6.2.2 В случае, если корпус (или хотя бы одна из его стенок, напр. передняя панель) выполнен не из металлических сплавов, то рассчитывают:

➤ тепловую проводимость стенок корпуса

$$\delta_{ск} = \frac{\lambda}{\delta} S, \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}},$$

где  $\lambda$  — теплопроводность неметаллического материала корпуса, (теплофизические характеристики органических материалов см. в табл. 6.4);  $\delta$  — толщина стенки;

$S$  — суммарная площадь неметаллических стенок корпуса;

➤ температуру внутри корпуса  $t_{вн} = t_x + \frac{P}{\delta_{ск}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$

6.6.3. *Определение температуры в центре нагретой зоны  $t_{вп}$ .*

6.6.3.1. Конвективно-кондуктивная тепловая проводимость между нагретой зоной и внутренней стенкой корпуса:

$$\delta_{ск} = \frac{k_{п} \lambda_0 (S_z + S_{РК})}{l_{ср} 2}, \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}},$$

где  $SJ = l(ab + ah + bh)$  — площадь поверхности нагретой зоны,  $\text{м}^2$ ;

$k_{п}$  — поправочный коэффициент на конвективный теплообмен условиях ограниченного пространства

$k_{п} = 1$ , если произведение  $GrPr \leq 10^3$ ,

$k_{п} = 0,18(GrPr)^{0,25}$ , если произведение  $GrPr > 10^3$ ;

$l_{ср}$  — среднее расстояние между нагретой зоной и корпусом РЭА которое можно оценить по любой из следующих формул :

$$l_{ср} = \sqrt[3]{\frac{(L_x - a)(L_y - b)(L_z - h)}{6}}, \text{ м},$$

$$l_{ср} = \frac{(L_x + L_y + L_z) - (a + b + h)}{6}, \text{ м},$$

6.6.3.2. Проводимость теплопередачи от нагретой зоны к стенке корпуса

излучением  $\delta_u = a_u S_z$ , где  $a_u = 7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ .

6.6.3.3. Температура в центре нагретой зоны

$$t_s = t_{вн} + \frac{P}{1,1(\delta_k + \delta_u)}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рис. 4.16. Причины и погрешности геометрической стыковки в микросборках .

Примечание: для расчета теплового режима конструкций РЭА разработана программа на ЭВМ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доценко Н.С., Соболев В.В. Долговечность элементов радиоэлектронной аппаратуры. М., 1973.
2. Дульнев Г. Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л., 1971.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М., 1973.
4. Пилин Ю. Г., Учебное пособие к курсовому проектированию «Расчет тепловых режимов РЭС». Ульяновск, 1974.
5. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М., 1984.

## 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС

### 7.1. Расчеты по обеспечению электромагнитной совместимости в конструкциях РЭС

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронного средства — это его способность функционировать совместно с другими техническими средствами в условиях возможного влияния непреднамеренных помех, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам. Помехи по месту возникновения разделяются на внешние (параметры электромагнитной обстановки должны оговариваться в техническом задании) и внутренние, возникающие из-за электромагнитного взаимодействия электрических цепей внутри устройства (перекрестные помехи, помехи по цепям питания).

Схемотехнические меры по обеспечению ЭМС (применение схем, малочувствительных к отдельным видам помех, например, дифференциальных усилителей; применение различного рода фильтров и т.п.) в данном пособии не рассматриваются.

К конструктивным мерам обеспечения ЭМС относятся экранирование и разработка рационального электрического монтажа.

Экранирование является средством ослабления электромагнитного поля в пределах ограниченного пространства с помощью конструктивного элемента (экрана), выполненного из проводящего и (или) обладающего высокой магнитной проницаемостью материала, чаще всего металла. Экраны выполняются в виде замкнутого кожуха прямоугольной, цилиндрической или сферической формы (электромагнитные, магнитостатические и некоторые электростатические экраны), либо в виде металлической пластины, размещаемой между источником и приемником помехи (электростатические

экраны). Если известны напряженности магнитного  $H^{\wedge}$  и электрического  $\mathcal{E}$ ,

полей, помехи и допустимые напряженности  $H_d$  и  $E_d$  (по условиям работоспособности узла), то требуемая эффективность экранирования определяется выражением

$$\mathcal{E} = 20 \cdot \lg \left( \frac{E_n}{E_0} \right); \quad \mathcal{E} = 20 \cdot \lg \left( \frac{H_n}{H_0} \right), \text{ дБ,}$$

Последовательность расчетов при анализе ЭМС в курсовом и дипломном проекте:

1) обосновать применение экранирования, сопоставить уровень помех, заданных в ТЗ или создаваемых элементами конструкции блока (трансформаторами, дросселями, сигнальными цепями), с допустимым из условий работоспособности блока уровнем помех. Рассчитать требуемую эффективность экранирования по формуле (7.1);

2) определить характер помехи (электрическая, магнитная, электромагнитная) и выбрать соответствующий тип экрана. Если расстояние до источника помехи превышает  $l \Rightarrow \lambda/2\pi$ , где  $\lambda$  — длина волны помехи, применяют электромагнитные экраны замкнутой формы. В качестве материала экрана используют металлы с высокой проводимостью (латунь, медь, алюминий). Использование для электромагнитных экранов магнитных материалов обычно не целесообразно, так как снижение эффективности экранирования из-за меньшей их проводимости не компенсируется ростом эффективности за счет

увеличения магнитной проницаемости. Требуемая эффективность экрана достигается выбором достаточной толщины стенок экрана в соответствии с формулой (7.2). Для экранирования магнитного поля при  $l \ll \lambda/2\pi$ , т. е. на низких частотах (поля рассеяния сетевых трансформаторов, дросселей, силовых цепей), необходим экран из материала с высокой магнитной проницаемостью — железа, пермаллоя, ферритов и т.п. Требуемая эффективность экрана обеспечивается достаточной толщиной стенок экрана. Экранирование электрического поля в ближней зоне (например, внутри высокочастотного модуля) выполняется металлическими экранами незамкнутой (пластина, помещенная между источником и приемником помехи) или замкнутой (кожух) формы. Эффективность экрана зависит от размеров, толщины и проводимости материала экрана;

3) проверить эффективность выбранной конструкции. Если необходимо, скорректировать конструкцию экрана (выбрать другой материал, размеры, толщину);

4) для анализа перекрестных помех в линиях связи и цепях питания микросхем выявить участки электрического монтажа на плате, в МСБ, где возникающие помехи и искажения сигналов могут повлиять на работоспособность узла (например, близко расположенные сигнальные проводники и т. д.);

5) рассчитать паразитные параметры линий связи и цепей питания, сравнить их с рассчитанными допустимыми значениями. В случае несоответствия, скорректировать конструкцию монтажных соединений (увеличить ширину проводников для уменьшения сопротивления и индуктивности, увеличить зазоры и уменьшить длину рядом расположенных участков для снижения взаимных емкости и индуктивности, установить • навесные шины питания и т.д.).

## 7.2 Электромагнитное экранирование

Эффективность сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне определяется по формуле

$$\mathcal{E} = 20 \cdot \lg[ch(rd)] + 20 \cdot \lg \left[ 1 + 0,5 \left( \frac{Z_e}{Z_3} + \frac{Z_3}{Z_e} \right) th(rd) \right], \text{ дБ},$$

где  $d$  — толщина стенки экрана, м;  $Z_B$  — характеристическое сопротивление окружающего пространства (для воздуха  $Z_B = 377 \text{ Ом}$ );  $\gamma$  — коэффициент распространения волны в металле

$$\gamma = (1 + j) \left( \omega \mu \mu_0 \frac{\delta}{2} \right)^{\frac{1}{2}}; \omega \text{ — частота,}$$

рад/с;  $\mu \mu_0$  и  $d$  — магнитные проницаемость и проводимость материала — характеристическое сопротивление материала экрана.

$$\text{соответственно; } Z_3 = (1 + j) \left( \omega \frac{\mu \mu_0}{2\delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

При расчете экранирования в ближней зоне, когда расстояние до источника помехи сравнимо с длиной волны помехи, используют формулу

(7,2), но значение  $Z_B$  зависит от преобладающей составляющей поля помехи

и от формы и размеров экрана.

При экранировании электрической составляющей поля

$$Z_{\epsilon}^E = \frac{1}{j\omega\epsilon\epsilon_0 r}, \text{ Ом}; \quad (7.3)$$

при экранировании магнитной составляющей поля

$$Z_{\epsilon}^H = (-j)\omega\mu\mu_0 r, \text{ Ом}. \quad (7.4)$$

Здесь под величиной  $r$  понимают диаметр цилиндрического экрана, радиус сферического экрана либо величину, равную  $a/\sqrt{2}$  для прямоугольного экрана ( $a$  — ширина параллелепипеда).

### 7.3 Электростатическое и магнитостатическое экранирование

Когда источник и приемник помех находятся в непосредственной близости друг от друга, электрическое и магнитное поля действуют независимо. Источником (и приемником) магнитной помехи может являться любой проводник, по которому протекает ток. Источником электрической помехи будет любой проводник, находящийся под переменным потенциалом.

Для защиты от магнитных помех применяют экраны из материалов с высокой магнитной проницаемостью, эффективность которых рассчитывают из выражения

$$\mathcal{E}_u = 20 \cdot \lg \left[ 1 + p \left( 1 - \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) \left( \frac{1}{\mu} + \mu - 2 \right) \right], \text{ дБ}, \quad (7.5)$$

где  $a^{\wedge}, a^{\vee}$  — внешний и внутренний размеры экрана цилиндрической, сферической или прямоугольной форм,  $p$  зависит от формы экрана,  $p = 0,25$  для цилиндрического экрана,  $p = 1$  для прямоугольного и  $p = 0,22$  для сферического.

Защита от электростатических помех осуществляется с помощью металлической пластины, помещаемой между источником и приемником помех, ее эффективность определяют по формуле

$$\mathcal{E}_u = 20 \cdot \lg \frac{5r_{\epsilon}}{a^2 a_1 - a a_1^2}, \text{ дБ}, \quad (7.6)$$

где  $a$  — расстояние между приемником и источником помехи, м;  $a_1$  — расстояние между экраном и приемником помехи, м;  $r_{\epsilon}$  — эквивалентный радиус экрана

$$r_{\epsilon} \approx \sqrt{\left( \frac{S_{\epsilon}}{\pi} \right)}, \text{ где } S_{\epsilon} \text{ — площадь экрана.}$$

Для электростатических экранов замкнутой формы

$$\mathcal{E}_E = 20 \cdot \lg(60\pi l \delta), \text{ дБ}. \quad (7.7)$$

Электростатические экраны обязательно должны соединяться с общим проводом электрической схемы, в противном случае эффективность их резко падает.

### 7.4 Расчет перекрестных помех в линиях связи

Паразитные параметры линий связи (собственная емкость и индуктивность) вызывают искажения передаваемых сигналов (для цифровых схем — увеличение длительности фронтов импульсов и дополнительная задержка сигналов). Взаимная емкость и индуктивность между электрическими цепями приводят к проникновению части сигнала из одной цепи в другую, что в аналоговых устройствах приводит к нежелательным каналам прохождения сигнала, непредусмотренным обратным связям и даже возбуждению узла, а в цифровых устройствах — к сбоям в работе.

При синтезе топологии из условий работы принципиальной схемы ' допустимой задержки сигналов в линиях связи и допустимой величины напряжения помехи  $U_{ndon}$  определяются требованиями к величине паразитных реактивных параметров линий связи параметрам проводников:

$$L < \tau R_{ax} \quad \text{при индуктивном характере связи,}$$

$$C < \frac{\tau}{R_{вых}} \quad \text{при емкостном характере связи,}$$

$$M_{1,2} < \frac{U_{ndon} \tau \phi}{I} \quad \text{при индуктивной взаимной связи,}$$

$$C_{1,2} < \frac{U_{ndon} \tau \phi}{UR_{вых}} \quad \text{при емкостной взаимной связи.}$$

После подстановки соответствующих выражений для  $L, C, M_{1,2}, C_{1,2}$  получаем систему ограничений на геометрические размеры линий связи, например, ограничение на максимальные длины линий или рядом расположенных линий при фиксированных значениях ширины проводников и расстояний между ними. Далее эти ограничения должны учитываться при разработке топологии.

При анализе уже разработанной топологии необходимо рассчитывать паразитные параметры цепей, имеющих на коммутационной плате наибольшую длину, минимальное расстояние, либо цепей, наиболее чувствительных к перекрестным помехам (например, связь между входом и выходом усилителя). Если на плате имеется хоть одна цепь, для которой указанные выше ограничения не выполнены, необходимо внести изменения в топологию коммутационной платы.

### 7.5 Расчет перекрестных помех по цепям питания

Шины питания и общего провода могут стать причиной передачи помех, если сопротивление и индуктивность их будут недостаточно малы. В наихудшем случае, когда все микросхемы подключены к общему проводу «по цепочке», величина статической помехи определяется падением напряжения на сопротивлении при протекании суммарного тока потребления микросхем

$$\Delta U_1 = n I_n r_1.$$

Для последней микросхемы в цепочке (точка 4) напряжение помехи

$$\text{увеличивается до значения } U_n = \frac{n(n+1)}{2} I_n r_1.$$

Отсюда вытекает требование обеспечить малое сопротивление в цепи общего провода и шины питания

$$r_1 \leq \frac{2U_{ndon}}{I_n(n+1)n}, \quad (7.8)$$

где  $I_n$  — ток потребления одной ИС.

В момент переключения микросхем в цепях питания протекает кратковременный импульс тока, значение которого  $\Delta I_n$  для ТТЛ-микросхем

в 3...12 раз превышает статический ток потребления (для КМОПИС равен току перезаряда емкости нагрузки элемента), а длительность приблизительно равна времени переключения логического элемента. Поэтому с учетом

динамической помехи  $U_{ndMH}$  аналогично (7.8) должно выполняться условие

$$L_1 \leq \frac{\tau \phi U_{ndMH}}{\Delta I_n(n+1)n}.$$

(7.9)

### 7.6. Расчет конструкций экранов

В общем виде экран представляет собой несущий элемент конструкции, изолирующий РЭС или ее часть от окружающего пространства. Форма экрана определяется формой объекта защиты, способом установки и закрепления в общей конструкции или на месте эксплуатации. Многообразие форм элементов и частей РЭС приводит к многообразию форм и конструкций экранирующих оболочек. Навесные проводники (провода, жгуты) при неудачном размещении могут оказаться антеннами для приема и излучения помех. Для защиты от таких нежелательных эффектов проводники необходимо помещать в гибкие металлические оплетки, выполняющие функции экранов. В то же время экран, защищающий проводник от помех, создает дополнительную емкостную связь «проводник — экран», которую необходимо учесть при согласовании цепей, соединенных этим проводником. Несколько проводников, объединенных в жгут, могут иметь как общий экран, так и индивидуальные экраны в виде экранирующих оплеток.

Из компонентов элементной базы защиты экранированием требуют чаще всего моточные изделия: катушки индуктивности, трансформаторы, дроссели, обмотки реле. Катушки индуктивности, работающие в мегагерцевом диапазоне частот, обычно не имеют магнитных сердечников и обладают полем, распространяющимся далеко за габаритные размеры катушки. Применение экранов позволяет уменьшить объем пространства для нормального функционирования катушки, уменьшить влияние ее поля на соседние элементы, повысить плотность компоновки. Из-за поглощения части энергии материалом экрана параметры катушки необходимо скорректировать. Экранирование дросселей и трансформаторов требуется при использовании повышенных рабочих частот электропитания (более 100 Гц). Активные элементы в виде полупроводниковых диодов, транзисторов, микросхем в большинстве случаев нецелесообразно защищать индивидуальными экранами. Предпочтительно помещать в такой экран весь функциональный узел, например, на печатной плате. Необходимость в этом увеличивается, если схема содержит усилительные каскады с большим коэффициентом усиления. При создании микросхемной аппаратуры естественно желание объединить функции экрана и корпуса. Корпус микроблока или микросборки становится внешним экраном. Выбор материала диктуется, с одной стороны, эффективностью защиты, а с другой стороны — производственными условиями, удобством изготовления, возможностью механизации труда и, наконец, просто механической прочностью конструкции. Слагаемые размеров экрана представлены на рис. 7.1 и 7.2.

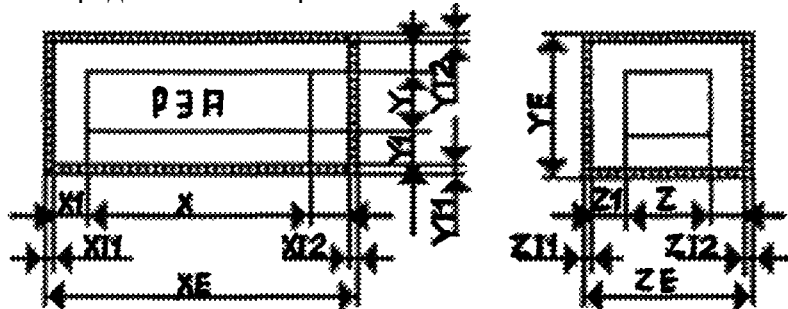


Рис. 7.1. Компоновочные размеры экранированного электронного устройства

Прежде всего, размеры экрана зависят от габаритных размеров объекта экранирования  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Далее, между объектом экранирования и внутренней поверхностью экрана должны

быть гарантированные зазоры  $X1$ ,  $X2$ ,  $Y1$ ,  $Y2$ ,  $Z1$ ,  $Z2$ , обеспечивающие удобство сборки, электрическую прочность монтажа, тепловой режим и другие условия, необходимые для нормального функционирования устройства. Толщины стенок экрана  $XT1$ ,  $XT2$ ,  $YT1$ ,  $YT2$ ,  $ZT1$ ,  $ZT2$  будут определяться эффективностью подавления помехи, механической прочностью конструкции, удобством закрепления и размещения на объекте.

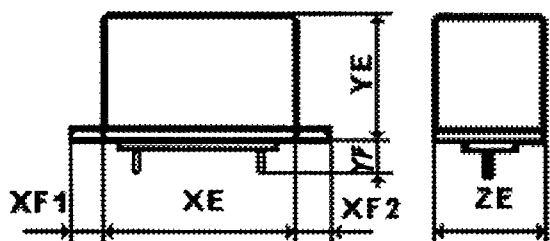


Рис. 7.2. Габаритные размеры экранированного устройства

У экрана имеется функциональная поверхность с размерами  $XF$ ,  $YF$ ,  $ZF$  (одна или несколько), через которую (которые) осуществляется связь экранированной части РЭС с внешними цепями и устройствами: кабельный и жгутовой вводы через разъемные контакты, элементы закрепления экрана на объекте. Окончательные размеры находятся как

$$XG = XF1 + XE + XF2; \quad YG = YF1 + YE + YF2; \quad ZG = ZE, \text{ где}$$

$$XE = XT1 + XT2 + X1 + X + X2; \quad YE = YT1 + Y1 + Y + Y2 + YT2;$$

$$ZE = ZT1 + Z1 + Z + Z2 + ZT2.$$

В самом общем виде РЭС защищается от электромагнитных полей металлическим экраном в виде замкнутой оболочки. Однако в электромагнитной обстановке может наблюдаться преобладание отдельного вида поля. Поэтому при поиске оптимальной конструкции следует различать:

- > магнитные экраны для подавления магнитной составляющей поля помехи;
- > электростатические экраны для подавления электрической составляющей поля помехи;
- > электромагнитные экраны для подавления обоих составляющих поля помехи.

Принцип работы магнитного экрана показан на рис. 7.3. Магнитный поток от источника помехи замыкается в толще экрана и лишь частично попадает в пространство радиоэлектронного устройства. Чем больше магнитная проницаемость материала экрана, тем большая часть энергии магнитной составляющей поля будет сосредоточиваться в толще экрана. Поэтому наибольшей эффективностью будут обладать конструкции, изготовленные из ферромагнетиков: железа (Fe), никеля (Ni), кобальта (Co), гадолиния (Gd). Корпусы приборов и устройств, выполненные из немагнитных материалов, таких как сплавы алюминия (АМг, АМц, Д16), магния (МА2, МЛ1, МЛ2,3), титана (ВТ3, ОТ4), меди, латуни (Л90, Л70, ЛЖС58 — —1—1), не способны концентрировать магнитные силовые линии и потому не способны выполнять роль магнитных экранов. Это хорошо показывают графики (рис. 8.4 — 8.6), на которых видно, что для АМц, Д16 и ЛЖС58-1-1 затухание магнитного поля ничтожно мало по сравнению с действием экрана из карбонильного железа, технического чистого железа АРМКО, пермаллоев 79НМ, 80ХНС.



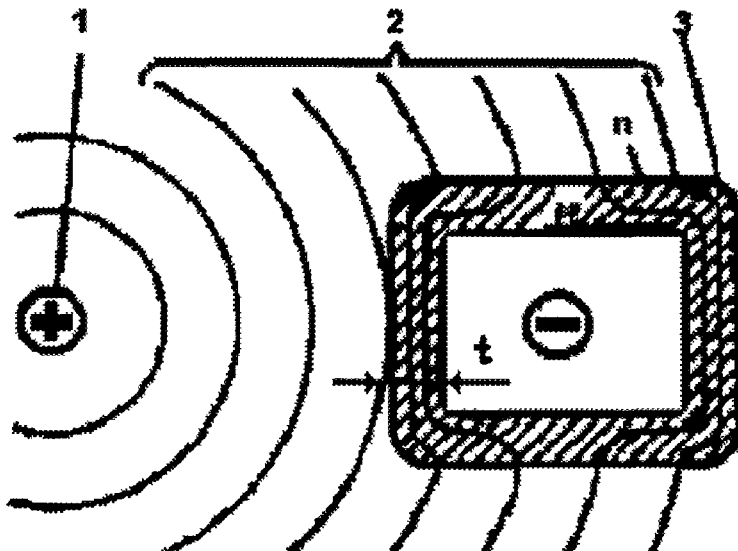


Рис. 7.3. Принцип действия магнитного экрана: 1—источник магнитной помехи; 2 — силовые линии магнитного поля; 3 — экран магнитной помехи

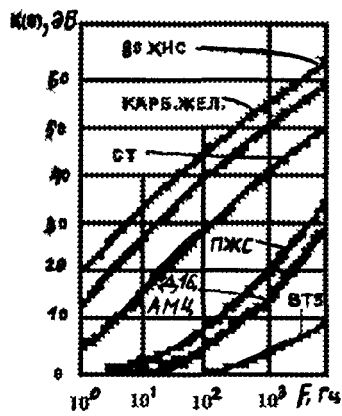


Рис. 7.4. Зависимость коэффициента поглощения  $K(\alpha)$  от частоты при экранировании магнитного экрана (толщина стенки 1мм)

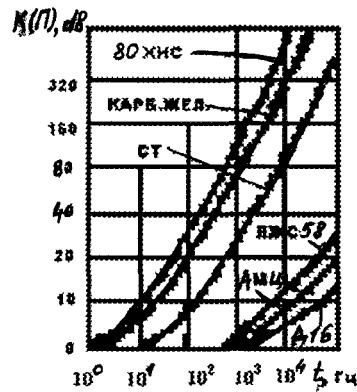
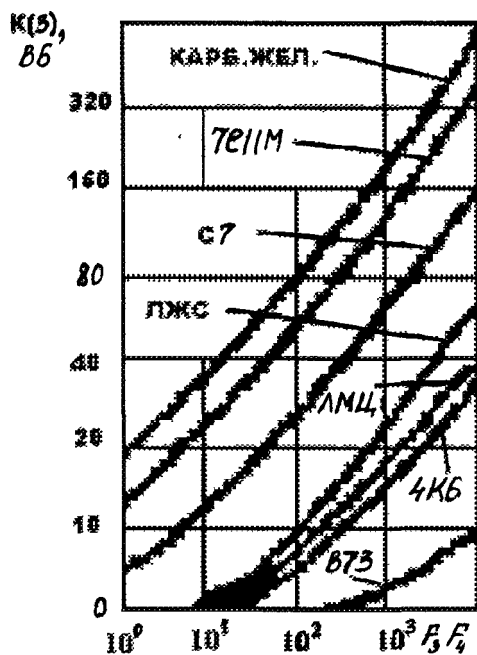


Рис. 7.5. Зависимость коэффициента отражения  $K(\gamma)$  от частоты для магнитном экранировании (толщина стенки 1мм)



Суммарная эффективность экранирования  $K(\varepsilon)$  для различных материалов пред-Рис. 7.6. Зависимость общего коэффициента ставлена на рис. 8.6. Однако экранирования  $K(\varepsilon)$  от частоты для вклад каждой составляющей магнитного экрана (толщина стенки 1 мм)

неравнозначен. так, на частоте  $f=10$  Гц для экрана из 80ХНС ( $t = 1$  мм)  $K(\pi) = 8$  дБ, а  $K(o) = 33$  дБ, на частоте 100 Гц имеем соответственно 23 и 44 дБ, а на частоте 500 Гц вклады примерно равны 58 и 52 дБ. Отсюда можно сделать вывод, что на низких частотах ( $f \leq 100$  Гц) основной вклад в магнитное экранирование вносит эффект отражения, а экранирование за счет поглощения энергии помехи незначительно.

Выражение для оценки эффективности экрана из магнитных материалов ( $M \Rightarrow 3 \cdot 10^3$ ) на частотах  $f \leq 100$  Гц имеет вид

из немагнитных материалов ( $\mu = 1; Z_{\pi}^H / Z_M \gg 1$ ) (7.10)

$$K(o) = 20 \cdot \lg(1 + (Z_{\pi}^H \cdot \text{th}(k_M \cdot t)) / (2 \cdot Z_M))$$

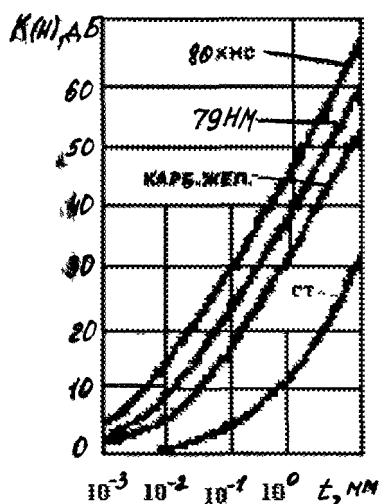


Рис. 7.7. Эффективность магнитного экрана в зависимости от толщины стенки для ферромагнитных материалов на частоте 10кГц

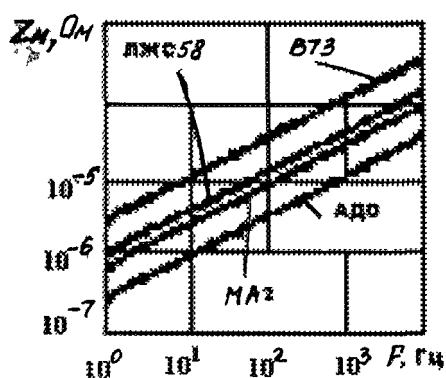


Рис 7.8 Частотная зависимость волнового сопротивления экрана

При  $k_M \cdot t \Rightarrow 0 \quad K(\pi) \Rightarrow 0$  и

$$K(H) = K(o) = 20 \cdot \lg(1 + (Z_{\pi}^H \cdot k_M \cdot t) / (2 \cdot Z_M)) = 20 \cdot \lg(1 + (4 \cdot 10^8 \cdot f \cdot R \cdot t) / \rho) \quad (7.11)$$

Эффективность магнитных экранов увеличивается с ростом частоты / (рис. 7.8) и толщины стенок  $t$  (рис 7.7). Однако с увеличением размеров экрана  $R$   $K(H)$  заметно снижается. Основными материалами для таких экранов следует выбирать магнитомягкие материалы:

технически чистое железо (АРМКО, 005ЖР, 008ЖР), карбонильное железо, низкоуглеродистые нелегированные стали и пермаллои. Эти материалы, имеющие требуемые магнитные свойства, удобны для изготовления экранирующих оболочек разными методами пластической деформации. Самым простым и надежным материалом следует считать технически чистое железо. Оно служит основным компонентом большинства магнитных материалов. Магнитные свойства его будут определяться количеством и составом примесей, из которых наиболее вредными являются, углерод (С), кислород (О), сера (S), водород (Н). Из электротехнических сталей для магнитных экранов подходят те, которые допускают пластическую деформацию, например 10895, ЭТ20895, ЭТ21895. Лучшими материалами для магнитных экранов следует считать железо-никельевые сплавы (пермаллои), обладающие большей магнитной проницаемостью в слабых магнитных полях. С учетом пригодности к пластической деформации лучше всего применять пермаллои марок: 79НМ, 80ХНС, 50ХНС, 81НМА. Основные свойства перечисленных материалов приведены в табл. 7.1

Магнитные экраны эффективны лишь при постоянном токе и в диапазоне низких частот. С увеличением частоты повышенная магнитная проницаемость теряет свое значение из-за вытеснения магнитного поля ближе к поверхности экрана.

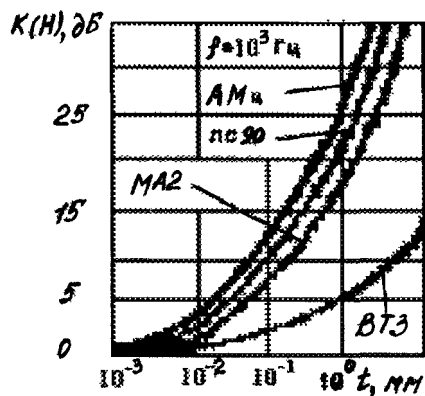


Рис. 7.9. Эффективность магнитных экранов из немагнитных материалов на частоте 10 кГц

Таблица 7.1

Материал	Толщина листа, мм	$\rho \cdot 10^{-6}$ , Ом·мм	М	ГОСТ, ТУ
Технически	0,1... 3,9	100	250	ТУ14-1-1720-76
Карбонильное	0,1... 3,9	100	4000	ГОСТ 13610-70
Электротехнические нелегированные стали: 10895 20895	0,1... 3,9	140	3000	ГОСТ 3836-83
Пермаллои: 79НМ 80ХНС	0,005 ... 22 0,005	550 620	10000 ... 25000 25000	ГОСТ 10160-75
81НМА	... 22 0,02	800	... 50000	ГОСТ 10160-75

латуни (Л70, Л80, Л85, Л90), деформируемые алюминиевые сплавы АД0, АД1, АМц. Если экран изготавливается путем механической обработки (резание, точение, фрезерование), то более удобны свинцовистые латуни ЛС63-1, ЛС74-3, ЛС64-2, дюрали Д16, В95.

Эффективность электростатического экрана оценивается по формуле (7.12)

Экранирующий эффект конструкционных материалов корпусов радиоаппаратуры, рассчитанный по этой формуле, представлен на графиках (рис. 7.10 и 7.11) для  $R = 50$  мм. Из графиков видно, что при  $f=0$  экранирующий эффект стремится к бесконечности, но с

ростом частоты снижается. Причина заложена в частотной зависимости волнового сопротивления пространства электрической составляющей поля (7.13)

$$Z_{\text{д}}^{\text{в}} = (\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot R)^{-1}.$$

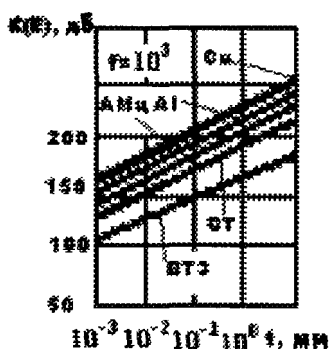


Рис. 7.10. Зависимость эффективности электростатического экрана от частоты

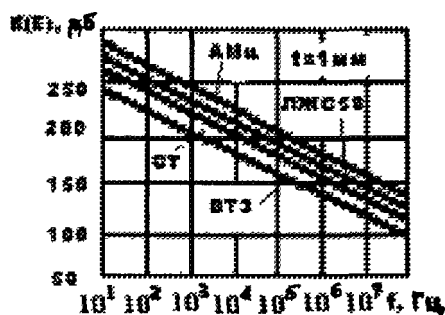


Рис. 7.11. Зависимость эффективности электростатического экрана от толщины стенки

Обязательным условием такого экранирования является соединение экрана с корпусом прибора или землей. Роль электростатического экрана может выполнять металл с любым удельным сопротивлением. Например, на частоте  $f=10^4$  Гц эффективность экранирования для высокоомного титана ВТЗ и низкоомного АМц будет равна:

$$\rho(\text{ВТЗ}) = 1360 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}, \quad K(E) = 80 \text{ дБ};$$

$$\rho(\text{АМц}) = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}, \quad K(E) = 210 \text{ дБ}.$$

Относительное изменение эффективности экранирования и удельного сопротивления составит:

$$\Delta K(E) / K(E) = (210 - 180) / 210 = 14\%,$$

$$\rho(\text{ВТЗ}) / \rho(\text{АМц}) = 1360 \cdot 10^{-6} / 30 \cdot 10^{-6} = 45,3\%.$$

Нет особых требований и к толщине экрана. Из рис. 7.14 находим

$$K(E)_{\text{Al}} = 220 \text{ дБ} \quad \text{для } t = 10 \text{ мм},$$

$$K(E)_{\text{Al}} = 160 \text{ дБ} \quad \text{для } t = 1 \text{ мкм}.$$

Относительное изменение  $\Delta K(E) / K(E) = (220 - 160) / 220 = 27,2\%$ , хотя толщина стенки изменилась в  $10^4$  раз.

Отсюда следует, что при конструировании электростатических экранов марка материала и его толщина выбираются исходя из удобств изготовления, коррозионной стойкости, механической прочности. В табл. 7.2 приведены основные электрические характеристики конструкционных материалов для РЭС и их металлические покрытия.

Таблица 7.2

Материал экрана	$\rho \cdot 10^6$ Ом-мм	$H$	Материал покрытия	$\rho \cdot 10^6$ Ом-мм	$M$
Ст 10	120	100	Серебро	15	1
АМц	30	1	Алюминий	26	1
Д16	47,6	1	Медь	17	1 •
АЛ4	46,8	1	Никель	68	59...530
АЛ9	45,7	1	Хром	130	1
МА2	120	1	Кадмий	74	1
ВТЗ	1360	1	Цинк	59	1
Л90	45	1	Олово	113	1
Л68	72	1	Золото	22,5	1
ЛЖС58-1-1	70	1	Палладий	108	1

Пример. Определить размеры электростатического экрана для функционального узла на печатной плате с размерами 120 x 80 x 20 мм. Ослабление помехи на частоте 100 кГц не менее 120 дБ.

Выберем зазоры между экраном и печатной платой согласно обозначениям на рис. 7.5:  $XI = X2 = Y2 = 5$  мм,  $Y1 = 15$  мм для установки разъема. Размеры экрана составят:  $XE = 120 + 5 + 5 = 130$  мм,  $YE = 80 + 5 + 15 = 100$  мм,  $ZE = 20 + 5 + 5 = 30$  мм, откуда  $R = \max\{XE, YE, ZE\} = 130$  мм.

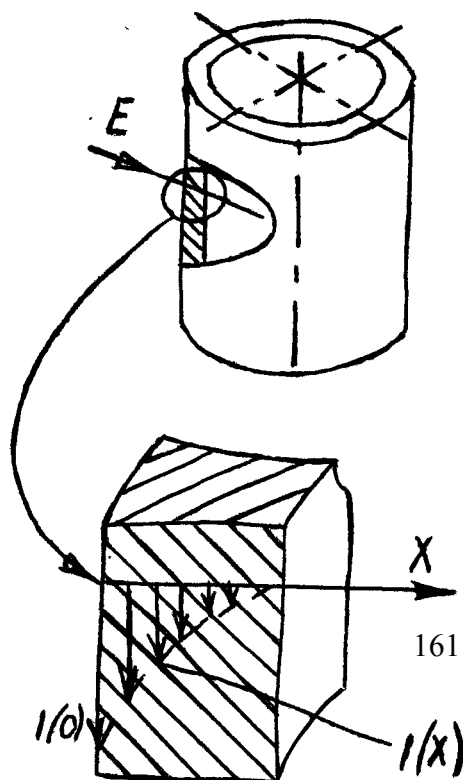
Толщину экрана  $XТ$  находим из формулы (7.12) после ее преобразования:  
 $2t = 1,11 \cdot 10^{-12} \cdot K(E) \cdot fp \cdot R$ .

В качестве материала выбираем латунь Л68:

$$XТ = 1,11 \cdot 10^{-12} \cdot 10^6 \cdot 10^5 \cdot 72 \cdot 10^{-6} \cdot 130 = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \approx 1 \text{ мкм.}$$

Из условий механической прочности, жесткости и технологии пластической деформации толщину стенки выбираем равной 0,4...0,5 мм.

Рассмотрим расчет конструкций электромагнитных экранов. Как следует из рассмотренных принципов конструирования электростатических и магнитных экранов, их работа основана на замыкании энергии соответствующих полей в материале экрана вследствие лучшей



электропроводности или магнитопроводности материала по сравнению с окружающей средой

Такой способ экранирования пригоден и оправдан в области только низких частот. С ростом частоты растет величина вихревых токов в материале, наведенных полем помехи. Энергия помехи, достигая поверхности экрана, вызывает появление этих токов. Глубина проникновения токов наводки в стенку экрана зависит от частоты из-за явления поверхностного эффекта. По этим причинам величина высокочастотного тока изменяется по сечению стенки по закону, который для однородного материала можно считать экспоненциальным (рис 7.12):

Рис. 7.12. Поглощение электромагнитной помехи за счет скин-эффекта

$$I(x) = I(0) \cdot \exp\{-\alpha x\}, \quad (7.14)$$

где  $I(x)$  — амплитуда тока помехи на расстоянии  $x$  от поверхности экрана;  $I(0)$  — амплитуда тока помехи на наружной поверхности экрана;  $\alpha$  — коэффициент вихревых токов,  $\alpha = [0,5 \cdot w \cdot \mu \cdot M_a / \rho]^{1/2}$ , где  $M_a = M_0 \cdot M$ ,  $M_0 = 1,256 \cdot 10^{-8}$  Гн/см — магнитная проницаемость вакуума; ( $J$  — относительная магнитная проницаемость).

Выполним преобразование  $I(0)/I(x) = \exp\{a \cdot x\}$ .

Если  $I(0)/I(x) = e$ , то

$$x = 1/\alpha. \quad (7.15)$$

Толщина стенки экрана  $x$ , на которой ток наводки ослабляется в  $e$  раз, носит название скин-слоя, где  $e$  — основание натурального логарифма. Толщина скин-слоя находится по формуле

$$\delta = x \cdot [I(0)/I(x) = e] = 1/\alpha, \quad \text{Ом} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}. \quad (7.16)$$

Если выбрать единицы измерения  $f$  — в МГц,  $\rho$  — в Ом·мм<sup>2</sup>/м, то для магнитных материалов ( $M \gg 1$ ), таких как сталь, пермаллои, ферриты, формула приобретет вид

$$\delta \approx 0,5 \cdot [\rho / (f \cdot \mu)]^{1/2}, \quad \text{мм}. \quad (7.17)$$

Для немагнитных материалов (Cu, Al, Mg)  $M=1$ , и

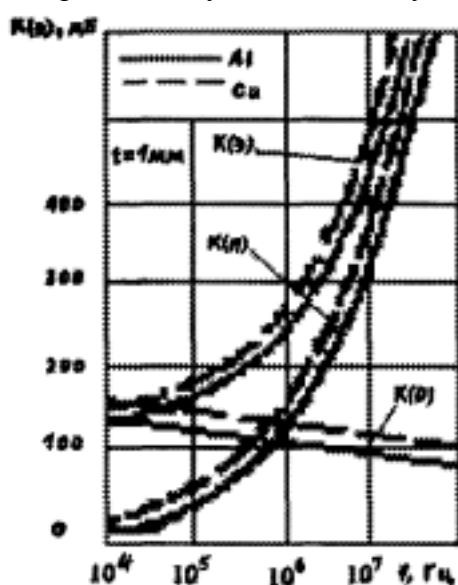
$$\delta \approx 0,5 \cdot [\rho / f]^{1/2}, \quad \text{мм}. \quad (7.18)$$

Задаваясь величиной ослабления помехи  $K(\varepsilon)$ , можно по величине скин-слоя определить минимальную толщину стенки электромагнитного экрана:

$$t = \ln K(\varepsilon) / \delta. \quad (7.19)$$

В соответствии с энергетическими принципами коэффициент электромагнитного экранирования  $K(\varepsilon)$  можно представить в виде совокупности двух составляющих: составляющей коэффициента экранирования за счет коэффициента отражения  $K(o)$  и составляющей экранирования за счет поглощения в материале экрана  $K(p)$ . Анализ вклада каждой составляющей в суммарный коэффициент можно сделать на основании графиков на рис. 7.13:

1. Наибольший коэффициент электромагнитного экранирования достигается для материалов с волновым сопротивлением минимальной величины  $Z_M$ . Поэтому при выборе материала следует соблюдать условие  $Z_M \gg Z_{0,3}$ , где  $Z_{0,3} = 377$  Ом.



2. На частотах больше 1 МГц резко увеличивается вклад поглощения помехи за счет скин-эффекта, который, в свою очередь, для материалов с меньшим удельным сопротивлением усиливается.

3. Тонкие проводящие пленки толщиной до 0,1 мм обеспечивают достаточно высокое и постоянное ослабление помехи в широком диапазоне частот  $f \leq 100$  МГц.

Низкий уровень  $Z_M$  обеспечивается материалами, Рис.7.13. Эффективность медного и имеющими в своем составе

алюминиевого покрытия при экранировании содержание меди, в зависимости от частоты алюминия, серебра, золота, бериллия, марганца, т. е. металлов с удельным сопротивлением  $\rho \leq 50 \cdot 10^{-6}$

Ом-мм. В общем случае толщина стенки экрана, обеспечивающая необходимую механическую прочность и жесткость конструкции, вполне достаточна для значительного подавления помехи от электромагнитной волны для  $K(\varepsilon) = 100 \dots 200$  дБ. Нетрудно видеть из графиков на рис. 7.14 — 7.16, что обычная алюминиевая, медная, латунная фольга толщиной 20...30 мкм обеспечивает высокую степень экранирования уже на частоте 100 кГц. В случае применения литых пластмассовых корпусов такую фольгу можно наклеивать на стенки специальными клеями: фенольными (БФ, ВК), эпоксидными (ЭД ВК — 7, Л — 4), полиамидными (МПФ — 1), перхлорвиниловыми (ХВС22А, Д10, М — 10). Другой способ экранирования пластмассовых корпусов РЭС заключается в нанесении на них тонких проводящих пленок. Так, с помощью вакуумного напыления можно нанести слой меди или алюминия до 4...5 мкм. Можно также использовать химическое осаждение меди.

Реальный экран нельзя сделать абсолютно замкнутой металлической оболочкой. Так, для соединения с внешними цепями необходимы отверстия, чтобы вывести проводники. Для размещения электронного устройства экран необходимо делать разъемным. При соединении разъемных частей возможно

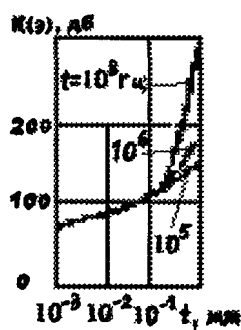


Рис. 7.14. Эффективность алюминиевых экранов в зависимости от частоты

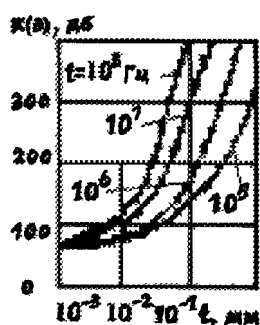


Рис. 7.15. Эффективность экранов из АРМКО в зависимости от частоты

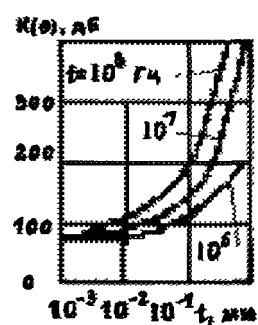


Рис. 7.16. Эффективность экранов из латуни ЛЖС58—1—1 в зависимости от частоты

появление щелей. Щели также могут появиться при неудачной пайке, сварке. Для отвода тепла с помощью естественной и принудительной конвекции конструктор вынужден предусмотреть отверстия. В результате на поверхности экрана неизбежно наличие отверстий различных форм и размеров, которые, естественно, вызовут снижение экранирующих свойств конструкции. Необходимо свести к минимуму эти нежелательные явления.

Типичными формами отверстий в экране можно считать прямоугольную щель с размерами  $X$  и  $Y$  (рис. 7.17 б) и круглое отверстие диаметром  $D$  (рис. 7.17 а).

При наличии прямоугольной щели эффективность электрически негерметичных экранов можно подсчитать по формуле

$$(7.20)$$

$$K(\varepsilon) = -20 \cdot \lg(4,16 \cdot (X \cdot Y)^{1/2} / \lambda) + 27,3 \cdot t / X, \text{ дБ}, \lambda \gg 2 \cdot X.$$

Для вентиляции и установки индикаторов и органов регулировки в экране делаются круглые отверстия. В этом случае эффективность экрана вычисляется по формуле

$$(7.21)$$

$$K(\varepsilon) = -20 \cdot \lg(3,3 \cdot D / \lambda) + 32 \cdot t / D, \text{ дБ}, \lambda \gg \pi \cdot D.$$

Появление отверстий в экране не окажет значительного влияния, если  
 $X \leq 0,05 \cdot \lambda$ .

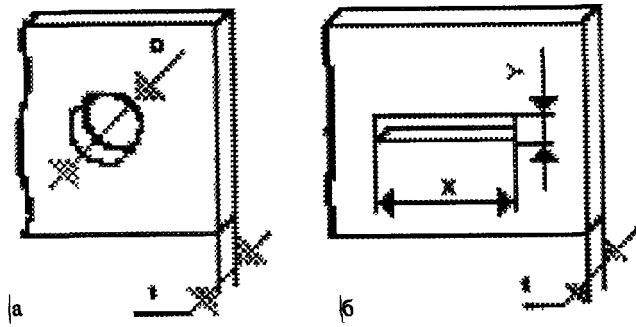


Рис. 7.17. Типичные отверстия в экране: а — круглое; б — прямоугольная щель



## 8. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Технологичность деталей из пластмасс количественно оценивают по значению комплексного показателя технологичности  $K_T$ , определяемому как совокупность частных показателей технологичности по формуле

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} f_{n.o} , \quad (8.1)$$

где  $K_i$  —  $i$ -й частный показатель технологичности;  $\phi_i$  — весовой коэффициент значимости  $i$ -го частного показателя технологичности;  
 $f_{\text{ПО}}$  — коэффициент, учитывающий необходимость механической обработки после основного формообразования детали способами литья под давлением, прямого (компрессионного) или литьевого прессования.

Номенклатура частных показателей технологичности  $K_i$  и весовых коэффициентов их значимости  $\phi_i$ , приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Наименование частного показателя технологичности	Обозначение	Весовые коэффициенты
Показатель обрабатываемости	$K$	1,0
Показатель соответствия	$K_c$	0,9
Показатель сложности детали	$к.д.$	1,0
Показатель равномерности толщины стенок	$K_{p.c.}$	0,7
Показатель соотношения толщины ребра жесткости и стеной	$V_{p.ж.}$	0,8
Показатель сложности линии разъема	$K_{л.р.}$	1,0
Показатель использования пластмассы	$K_{и.п.}$	0,9

Если для данной конструкции пресс-формы требуется последующая механическая обработка детали (включая удаление литниковой системы), то  $f_{\text{ПО}} = 0,85$ . Если механической обработки нет, то принимают  $f_{\text{ПО}} = 1$ .

Рассчитанное по формуле (8.1) значение  $K_T$  сравнивается с допустимым  $[K_T]$ . Если выполняется условие  $K_T \geq [K_T]$ , то считают, что конструкция данной детали технологична. Значение  $[K_T]$  зависит от способа формообразования и составляет:

для литья под давлением  $[K_T] = 0,75$ ;

для прямого (компрессионного) прессования  $[K_T] = 0,7$ ;

для литьевого прессования  $[K_T] = 0,65$ .

#### 8.1. Показатель обрабатываемости материала $K_0$

Этот показатель зависит от материала детали, который относится к термопластам, реактопластам или резинам.

Термопласты подразделяют на две группы. К группе I относятся наиболее широко применяемые термопласты общего назначения: полистирол, поливинил-хлорид, дакрил, полиэтилен, полипропилен и т.д. Они легко перерабатываются на технологическом оборудовании (термопласт-автоматах). Для термопластов группы I применяют  $K_T = 1$ .

К термопластам группы II относятся материалы со специфическими особенностями технологии переработки: узкий температурный интервал, соответствующий требуемой степени пластификации, необходимость сушки гранул перед загрузкой в бункер термопласт-автомата, высокая температура литья, необходимость предварительной

пластификации. Этими материалами являются: полиамиды (капрон), поликарбонат, полиметилметакрилат (оргстекло), сополимеры АБС, фторопласты. Для термопластов группы П принимают  $KQ = 0,9$ .

Считается, что применение реактопластов менее прогрессивно, чем термопластов, поскольку вызывает ухудшение санитарно-гигиенических условий труда при его невысокой производительности. Для реактопластов  $Ko = 0,85$ .

Резины на основе натуральных и синтетических каучуков характеризуются коэффициентом обрабатываемости  $K_T = 0,9$ . Для силиконовых и фтористых резин принимают  $K_0 = 0,9$ . 167

### 8.2. Показатель соответствия $K_c$

Этот показатель является результатом качественного анализа технологичности детали. Если по результатам качественного анализа технологичности делают вывод, что конструкция детали выполнена в соответствии с правилами изготовления пластмассовых деталей (квалигеты полей допуска элементов детали; уклоны; толщины стенок, радиусы округлений), то принимают  $K_c = 1$ . В противном случае считают  $K_c = 0,9$ .

### 8.3. Показатель сложности детали $K_{сд}$

Необходимо учитывать тот факт, что основную часть стоимости пластмассовой детали обычно составляет амортизация цены пресс-формы, которая представляет собой весьма дорогостоящее изделие. Очевидно, что цена пресс-формы напрямую зависит от сложности формообразуемой пластмассовой детали, т.е. от тех решений, которые необходимо принять для получения заданной конструкции детали.

Показатель сложности пластмассовой детали определяют по формуле

$$K_{сд} = l \cdot u \cdot p \cdot m \cdot q \cdot l \cdot c \cdot r \cdot t, \quad (8.2)$$

где  $a$  — количество поднутрений на внутренних поверхностях детали;  $t$  — количество поднутрений на наружных поверхностях детали;  $l$  — общее количество отверстий в детали;  $g$  — количество отверстий, направление которых отличается от перпендикулярного к плоскости разреза пресс-формы;  $p, q, c, t$  — эмпирические коэффициенты, которые рекомендуется принимать равными:  $p=0,1; q=0,04; c=0,01; t=0,03$ .

В формуле (8.2) учитываются только те поднутрения, которые по своему относительному размеру превышают допустимые значения.

Поскольку количество отверстий в детали соответствует количеству оформляющих их знаков (стержней), то, определяя общее количество отверстий для формулы (8.2), следует прибавить к их числу количество надписей, рисунков и других элементов детали, оформляемых отдельными знаками.

### 8.4. Показатель равномерности толщины стенок $K_{рс}$

Показатель разнотолщинности стенок  $K_{рс}$  определяют в зависимости от значения отношения  $S_{max}/S_{min}$ , где — наибольшая и наименьшая толщины стенок анализируемой детали. При определении наибольшей и наименьшей толщин стенок не учитываются толщины ребер жесткости, бобышек, приливов вокруг арматуры, рифленых поверхностей пластмассовой детали. Значения этого показателя представлены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Диапазоны отношения $S_{max} / S_{min}$ ,	Значение Кр.с.
$1,00 \leq S_{max} / S_{min} \leq 1,05$	1,0
$1,05 \leq S_{max} / S_{min} \leq 1,10$	0,9
$1,10 \leq S_{max} / S_{min} \leq 1,20$	0,8
$1,20 \leq S_{max} / S_{min} \leq 1,133$	0,7
$S_{max} / S_{min} > 1,33$	0

#### 8.5. Показатель соотношения толщины ребер жесткости и стенок $K_{р.ж}$ .

Показатель соотношения толщины ребер жесткости и стенок определяют по отношению  $S_p/S_T$ , где  $S_p$  и  $S_T$  толщины ребра жесткости и сопрягаемой с ним стенки.

Значения этого показателя приведены в табл. 8.3. В случае отсутствия в конструкции детали ребер жесткости данный частный показатель в комплексном показателе технологичности не учитывается.

Таблица 8.3

Диапазоны отношения $S_p/S_T$	Показатель $K_{р.ж}$
$S_p/S_T \leq 0,4$	0
$0,4 \leq S_p/S_T \leq 0,5$	0,7
$0,5 \leq S_p/S_T \leq 0,6$	0,8
$0,6 \leq S_p/S_T \leq 0,7$	0,9
$0,7 \leq S_p/S_T \leq 0,9$	1
$0,9 \leq S_p/S_T \leq 1,1$	0,9
$1,1 \leq S_p/S_T \leq 1,3$	0,8
$S_p/S_T > 1,3$	0

#### 8.6. Показатель сложности линии разъема пресс-формы $K_{др}$

Показатель сложности линий разъема определяют по формуле

$$K_{др} = 1,1 - 0,1 \cdot Z, \quad (8.3)$$

где  $Z$  — число плоскостей разъемов в пресс-форме.

Обычно в пресс-формах для литья под давлением принимают  $Z = 1$ . Однако возможны случаи, когда пресс-форма смыкается по поверхности, образованной сочетанием плоскостей. В этом случае за  $Z$  принимают количество плоскостей, по которым необходимо обеспечить смыкание пресс-формы.

Если при изготовлении деталей из реактопласта необходимо произвести разборку пресс-формы по нескольким плоскостям, то за  $Z$  принимают количество плоскостей, по которым осуществляют разборку пресс-формы для извлечения детали.

8.7. Показатель использования пластмассы  $K_{цд}$  и  $K_{цп}$  Показатель использования пластмассы  $K_{цд}$  определяют по

отношению  $\frac{M_d}{M_l}$ , где  $M_d$  и  $M_l$  — масса детали и масса пластмассы,

расходуемой на одну деталь. Численное значение этого показателя представлено в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Диапазон изменения величины $M_d/M_l$	Значение $K_{цд}$
$M_d/M_l \leq 0,4$	0
$0,4 \leq M_d/M_l \leq 0,55$	0,6
$0,55 \leq M_d/M_l \leq 0,65$	0,7
$0,65 \leq M_d/M_l \leq 0,75$	0,8
$0,75 \leq M_d/M_l \leq 0,85$	0,9
$M_d/M_l > 0,85$	1,0

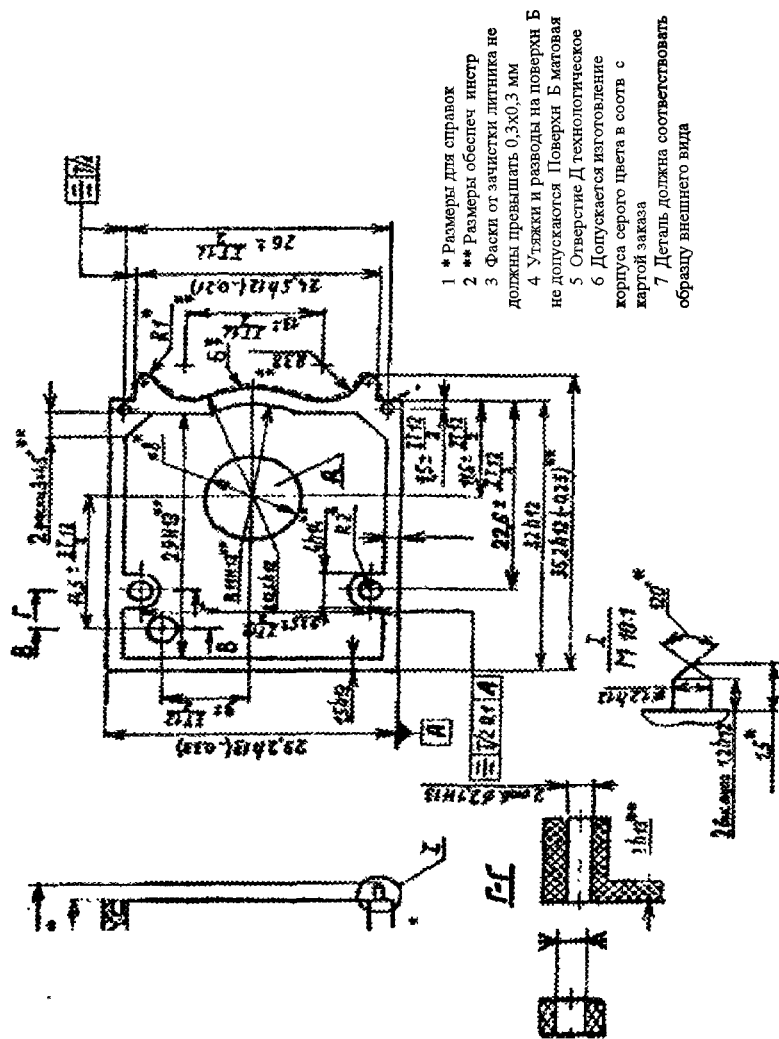


Рис. 8.1 Деталь типа «Корпус» из полиамида

Отношение  $M_d/M_l$  — определяют после разработки рабочей полости пресс-формы, включая литниковую систему, т.е. можно записать,

$$\text{что } \frac{M_d}{M_l} = \frac{n \cdot V_d}{n \cdot V_d + V_{л.с}},$$

где  $n$  — количество деталей, получаемых в пресс-форме за одну операцию литья под давлением или прессования;  $V_d$  — объем детали;

$V_{л.с}$  — объем литниковой системы.

Объем детали  $V_d$  определяют по ее чертежу. Объем литниковой системы складывается из объемов литниковых отверстий в пресс-форме и объемов питателей, подводящих пластмассу к формообразующим полостям в пресс-форме.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Детали из пластмасс. Требования к технологичности конструкции. ОСТ 1.80061—73. М., 1973.
2. Справочник по проектированию пресс-форм для литья пластмасс под давлением /Под ред. А.П. Пантелеева. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.
3. Брагинский В.А. Прессование. Л.: Химия, 1979. 176 с.
4. Пресс-формы для литья термопластов под давлением. ГОСТ 22062—76 — 22082—76. М.: Изд-во стандартов, 1984. 167 с.
5. Правила обеспечения технологичности конструкции изделий. Основные положения. Руководящий документ по технологии РДГ 253-87. М.: ВНИТИПРИБОР, 1987. 62 с.
6. Отраслевая система обеспечения технологичности изделий (ОСОТИ). Детали, изготавливаемые из пластмасс. Номенклатура и нормативные значения показателей технологичности ОСТ 4Г 0.091.381 — 84. М., 1973.