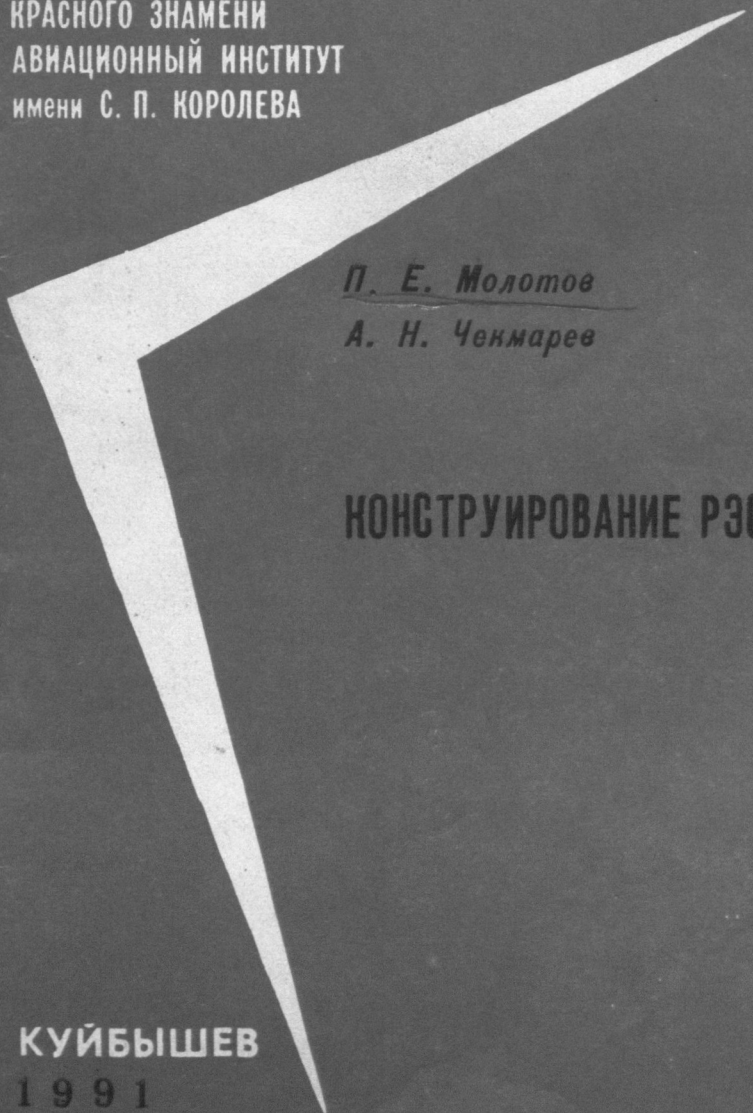


Изд. № 6191  
М 888

3. 9

Схемат

КУЙБЫШЕВСКИЙ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ С. П. КОРОЛЕВА



П. Е. Молотов  
А. Н. Ченмарев

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

КУЙБЫШЕВ  
1991

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР  
ПО ДЕЛАМ НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

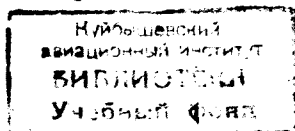
КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

*П. Е. Мологов, А. Н. Чекмарев*

## КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

*Учебное пособие  
по курсовому проектированию*

КУЙБЫШЕВ 1991



УДК 621.396.6.001.2

Конструирование РЭС: Учеб. пособие по курс. проектир./ П. Е. Молотов, А. Н. Чекмарев; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1991. 92 с.

ISBN 5—230—16893—5

Даны общие положения, раскрывающие задачи, тематику, содержание и объем курсового проекта и методические рекомендации к выполнению его отдельных разделов. На основе системного подхода и модульного принципа проектирования РЭС приведены справочные данные, расчетные формулы, сборочный чертеж со спецификацией.

Предназначено для студентов спец. 23.03 дневной и вечерней форм обучения, выполняющих проект по курсу «Конструирование РЭС».

Табл. 16. Ил. 23. Библиогр.: 27 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королева

Рецензенты: кафедра «Конструирование и технология производства РЭА» Московского авиационного института, В. М. Шахмистов

ISBN 5—230—16893—5

© Куйбышевский  
авиационный институт, 1991

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Решение задачи ускорения социально-экономического развития страны требует коренного улучшения профессиональной подготовки специалистов. Квалификация, компетентность кадров во многом определяют масштабы и темпы научно-технического прогресса. В полной мере это относится к разработке радиоэлектронных средств (РЭС). Для решения поставленной задачи в процессе подготовки инженерно-технических кадров наряду с традиционными необходимо использовать новые, более совершенные средства, формы и методы преподавания, способствующие активизации познавательной деятельности студентов, формированию самостоятельности их мышления и направленные на быструю адаптацию молодых специалистов в реальных производственных условиях.

Анализ современной научно-технической и учебной литературы в области конструирования РЭС позволяет сделать вывод о недостаточно обобщенном и концентрированном изложении методики конструирования РЭС. Конструирование РЭС требует системного подхода к разработке конструкции, учитывающей все этапы проектирования, изготовления и эксплуатации. Обобщение работ [3, 15, 17] ведущих специалистов в области конструирования РЭС Б. Ф. Высоцкого, В. Б. Пестрякова, Е. М. Парфенова, П. П. Гелля и многих других послужило исходным материалом для разработки предлагаемого учебного пособия.

*Цель данного пособия* — используя принцип проблемности в курсовом проектировании, привить студентам навыки выполнения конструкторских ра-

бот, оказать помощь в решении инженерных задач по конструированию РЭС.

В настоящем учебном пособии даются методические рекомендации студентам по организации и выполнению курсового проектирования с учетом стадий проектирования в соответствии с ЕСКД, приводятся справочные данные, расчетные формулы, а также конкретные примеры выполнения расчетов и чертежей на основе системного подхода и модульного принципа проектирования РЭС.

Отличительной особенностью предлагаемого пособия является поэтапное изложение методики конструирования РЭС, что, по мнению авторов, более полно отражает процесс творческой работы над курсовым проектом.

# 1. ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

---

## 1.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

*Предметом изучения являются методы конструирования РЭС различного функционального назначения и конструкторско-технологического исполнения для различных условий эксплуатации.*

*Цель преподавания дисциплины состоит в изучении конструкций РЭС и их влияния на эффективность радиотехнических систем и устройств, в обучении будущих инженеров методам и практическим навыкам конструирования радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающим высокий уровень технических и эксплуатационных характеристик, микроминиатюризации изделий.*

*Задачи курса состоят в изучении методов анализа исходных данных для конструирования; конструкций РЭС различного назначения; методов микроминиатюризации и стандартизации в конструировании РЭС в целях обеспечения технологичности изделий; инженерных методов конструирования РЭС различного назначения и климатического исполнения с применением САПР и разработкой конструкторской документации. На лабораторно-конструкторском практикуме студент получает практические навыки по разработке конструкций РЭС и конструкторской документации.*

Курс «Конструирование РЭС» базируется на следующих дисциплинах: «Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭС», «Радиотехнические системы», «Автоматизация конструкторского проектирования РЭС с применением САПР», «Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования РЭС с применением САПР», «Применение микропроцессоров и микроЭВМ в конструкциях и технологии производства РЭС».

Курсовой проект по дисциплине «Конструирование РЭС» является завершающим этапом в процессе конструкторско-технологической подготовки студентов по специальности 2303 и преследует такие цели:

закрепление и расширение полученных знаний путем самостоятельного выполнения конструкторской разработки РЭС;  
совершенствование конструкторских и графических навыков самостоятельной работы в области конструирования РЭС;  
изучение справочной и технической литературы;  
приобретение навыков по разработке текстовой документации;

подготовка студентов к выполнению дипломного проекта.

Курсовой проект должен решать комплексную инженерно-техническую задачу, включающую синтез, анализ и обоснование основных элементов и узлов проектируемого устройства; разработку конструкции, обоснование принятых расчетных нагрузок и технических решений. При этом необходимо учитывать требования всех этапов проектирования, изготовления и эксплуатации. Такой подход к конструированию РЭС принято называть *системным* [15].

*Основная задача курсового проекта* — реализовать системный подход при проектировании конструкции РЭС.

*Этап I.* Анализ технического задания (ТЗ) и схемы электрической принципиальной. Результатом анализа является уточнение и конкретизация ТЗ на конструирование изделия, методика и последовательность которого освещены в п. 2.2.

*Этап II.* Техническое предложение (ПТ) — ГОСТ 2.118—73. Выполняется для выявления дополнительных или уточненных требований к конструкции изделия, которые не могли быть указаны в ТЗ без предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов. На этом этапе в рамках курсового проекта ограничиваются предварительной проработкой технического решения оригинального элемента, коммутаций, несущей конструкции, крепления. Здесь целесообразно проанализировать аналог, прототип или сопоставимую конструкцию, а также выбрать метод конструирования устройства.

*Этап III.* Эскизный проект (ЭП) — ГОСТ 2.119—73. Выполняется с целью принятия принципиальных конструктивных решений изделия, дающих общее представление о компоновке и размещении элементов конструкции. Рациональный вариант конструкции РЭС определяется в результате предварительной компоновки и сравнения вариантов по показателям качества. При этом следует учитывать конструктивные, технологические и эксплуатационные особенности разрабатываемого изделия и существующих аналогов, прототипов и сопоставимых изделий, а также тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области.

Результатом этого этапа проектирования являются:

чертеж общего вида конструкции РЭС (предварительный вариант);

конструкторские расчеты, подтверждающие выполненную предварительную компоновку изделия.

*Этап IV.* Технический проект (ТП) — ГОСТ 2.120—73. Выполняется с целью выявления окончательных решений компоновки и размещения конструктивных элементов, конструкций плат, элементов электрических и механических связей и других технических решений, дающих полное представление о конструкции изделия.

Результатом выполнения этого этапа проектирования являются:

чертеж общего вида конструкции РЭС (окончательный вариант);

конструкторские расчеты, подтверждающие выполненную окончательную компоновку конструкции.

*Этап V.* Рабочий проект (ГОСТ. 2.102—68). Выполняется с целью разработки и оформления чертежей деталей и сборочных единиц, спецификаций и других рабочих документов, оговоренных в ТЗ. При проектировании с использованием автоматизированного рабочего места конструктора (АРМ) выполняются чертежи в виде машинной графики.

*Этап VI.* Заключительное оформление, брошюровка пояснительной записки (ПЗ) и подготовка доклада (5—7 мин) к защите.

## **1.2 ПРОБЛЕМНОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Проблемное обучение предполагает постановку задачи и организует ее решение, в результате чего знания усваиваются путем поисковой деятельности обучающихся. Именно так познавательная деятельность студентов приобретает научный характер, а знания, полученные самостоятельно, усваиваются полнее, лучше запоминаются.

Приведем следующие основные этапы проблемного обучения студентов.

1. Возникновение основной проблемной ситуации при знакомстве студента с ТЗ на курсовое проектирование. Следует учитывать, что проблемные ситуации возникают не всегда, а лишь в определенных случаях. Прежде всего задание должно отвечать двум требованиям: соответствовать уровню подготовленности обучающихся (ни слишком трудное, ни слишком легкое задание не вызовут проблемной ситуации) и быть актуальным.

2. Поиск общего решения (выдвижение гипотез, их обсуждение и проверка, анализ аналогичных конструкций, выбор нап-



правления проектирования и основных конструкторских решений и т. д.).

3. Решение частных задач, возникающих при разработке деталей конструкции.

4. Получение окончательного результата и его оценка с учетом требований, предъявляемых ТЗ.

Следует отметить, что решение проблемной ситуации (выполнение курсового проекта) может быть осуществлено по-разному. Если курсовой проект выполняется по разработанным кафедрой методическим указаниям, в которых приведены примеры расчетов узлов, блоков РЭС, то практически поставленная в ТЗ проблема уже решена и обучающемуся остается подставить в математические формулы заданные числовые значения. Такой вариант обучения не может быть рекомендован, так как не обеспечивает требуемой активности студентов в учебном процессе.

Если создана ситуация, побуждающая обучающегося обеспечить высокое качество проектируемого узла или блока РЭС, то тот вынужден последовательно перебирать различные варианты (разумеется, в рамках ТЗ), выбирая те, которые позволяют создать оптимальное по качеству устройство. Именно такая формулировка задания позволяет наилучшим образом осуществить проблемное обучение.

Время, отводимое на проектирование, можно уменьшить, используя ЭВМ. Реальный путь использования ЭВМ — работа студентов по готовым, отработанным программам, тем более что инженер-конструктор, вероятно, еще долго будет выступать в роли пользователя готовых программ, так как его инструментом в настоящее время являются АРМ с соответствующим программным обеспечением.

Как показывает опыт, применение готовых программ позволяет реализовать поиск наилучших решений путем перебора вариантов и методов решения экстремальных задач. Это освобождает студента от рутинной вычислительной работы и дает возможность уделить больше внимания конструированию, компоновке, выбору материалов и т. д.

### *1.3. ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ*

Темы курсовых проектов должны быть актуальными, отражать профиль вуза и научную тематику кафедры, обеспечивать элементы научно-исследовательской работы и проблемного обучения. Только в этом случае возрастает активность и ответственность обучающегося за своевременное выполнение проекта.

Темы выбирают непосредственно сами студенты из числа

предлагаемых руководителем курсовых проектов. Допускается самостоятельное формирование тем по материалам производственных практик, УИРС, НИРС, хозяйственных тем и по согласованию с руководителем проекта.

В соответствии с программой дисциплины «Конструирование РЭС» за основу можно принять следующие темы курсовых проектов:

1. Бортовой радиолокатор на микросборках.
2. Спутниковая ЭВМ на микросборках.
3. Бортовая станция радиосвязи на микросборках и фильтрах поверхностно-акустических волн.
4. Вторичный источник электропитания (ВИП) в микроминиатюрном исполнении.
5. Самолетный ответчик на микросборках.
6. Самолетный радиокompас.

При формулировке тем курсовых проектов необходимо учитывать, что уже на данном этапе можно активизировать процесс обучения студента, привить ему навыки коллективной работы и т. д. Например, в ряде случаев целесообразно поручать двум-трем студентам конструкторскую разработку нескольких вариантов нестандартных ВИП (варианты задаются техническим заданием) или одну сложную тему. В данном случае несколько студентов выполняют одну большую работу, сравнивая свои результаты, т. е. выполняется коллективная работа по комплексной теме. Если защита проекта заканчивается фразой: «Разработанный мною вариант конструкции менее удачен, чем у моего коллеги», то воспитательную роль такого фактора трудно переоценить.

#### *1.4. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ*

Каждому студенту выдается задание на курсовой проект, в котором руководитель проекта указывает срок выдачи заданий и дату защиты проекта. Задание оформляется на специальном бланке (прил. 1), в котором записываются: тема проекта, исходные данные к проекту; объем и содержание графических работ; объем и содержание расчетно-пояснительной записки; рекомендуемая литература; дополнительные указания к проекту.

Тема проекта. Рекомендации по выбору темы проекта изложены в п. 1.3.

Исходные данные к проекту. Основными исходными данными для выполнения проекта являются:

схема электрическая принципиальная (ЭЭ) устройства, выполненная в полном соответствии с ЕСКД (прил. 2);

электрические требования с указанием данных, наиболее ха-

раактерных для разрабатываемого устройства, например, для радиолокационного приемника: чувствительность, рабочий диапазон частот, избирательность и др.;

конструкторские требования: компоновочные данные (габариты, масса, координаты центра тяжести и точек крепления); показатели надежности; степень унификации; технологичность конструкции и т. д.;

условия эксплуатации задаются объектом эксплуатации РЭС с указанием конкретных количественных показателей воздействий на РЭС;

техничко-экономические требования задаются серийностью производства устройства и группой изделия в зависимости от стоимости его разработки и производства.

Объем и содержание графических работ. Графическая часть проекта включает комплект чертежей на разрабатываемое устройство объемом не менее 2-х листов формата А1 по ГОСТ 2.301—68.

Объем и содержание расчетно-пояснительной записки. Объем расчетно-пояснительной записки обычно составляет 25—30 листов. Рекомендуемая последовательность изложения материала приведена в разд. 5.

Рекомендуемая литература. Руководитель проекта называет литературу, которую студенту необходимо использовать при разработке конструкции РЭС.

Дополнительные указания к проекту. Этот раздел используется руководителем проекта для включения дополнительных требований к проекту, а также для включения дополнений, которые появляются у студента при работе над курсовым проектом.

## *1.5. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ*

Для организации курсового проектирования на кафедре разрабатываются методические указания к работе, в которых определены темы проектов, порядок выдачи заданий, содержание разрабатываемых вопросов, требования к оформлению, а также порядок проведения консультаций и защиты проектов.

Руководитель проекта оказывает помощь студенту в составлении календарного графика работы на весь период проектирования, рекомендует необходимую литературу; проводит систематические, предусмотренные как расписанием занятий, так и назначаемые по мере необходимости консультации; проверяет выполнение работы (по частям и в целом) и организует защиту проектов. Однако контроль со стороны руководителя не осво-

бождает студента от ответственности за правильность выполнения проекта и принятых решений.

Целесообразно иметь специально подготовленные для выполнения курсовых проектов аудитории (конструкторские залы), удовлетворяющие требованиям научной организации самостоятельной работы студентов. Учитывая ограниченное время обучающихся, особого внимания заслуживает планирование их самостоятельной работы.

В табл. 1.1 дан вариант ориентировочного графика самостоятельной работы.

Одной из форм организации самостоятельной работы студента являются консультации, которые можно подразделить на *установочные*, организуемые перед началом курсового проектирования; *текущие*, проводимые руководителем проекта систематически в течение семестра; *итоговые*, организуемые перед защитой курсового проекта. По способам проведения консультации бывают: консультация—совет, консультация—разъяснение, консультация—обсуждение.

*Консультация—совет* начинается с разъяснения сущности предстоящей работы, затем даются советы, как лучше организовать работу над проектом. Далее студенты задают возникшие у них вопросы, и консультация продолжается в вопросно-ответной форме.

*Консультация—разъяснение* является наиболее распространенной. На ней студенты задают вопросы, связанные с принципом работы РЭС, конструкторскими решениями и т. п. 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 явиться 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 учебных пособиях, являются спорными или возникли в результате реализации принятого конструкторского решения. Даже в этом случае преподаватель не должен давать исчерпывающие объяснения: необходимо убедиться в том, что обучающийся правильно понял основное и может самостоятельно продолжить рассматриваемый этап работы.

*Консультация—обсуждение* наиболее полезна при выполнении курсового проекта. В этом случае руководителю желательно начинать с краткого вступительного слова и отвечать на вопросы, связанные с уточнением особенностей рассматриваемого РЭС. Руководитель в определенной последовательности ста-

вит перед обучающимися, работающими, например, над комплексной темой, вопросы и организует их обсуждение, в котором принимают участие как студенты, так и он сам. В заключении руководитель обобщает итоги обсуждения, указывает на недостатки, положительные результаты работы и рекомендует дополнительную литературу.

Таблица 1.1

График выполнения курсового проекта

Этап разработки	Наименование работ	Контроль Вид отчетности	Срок выполнения (неделя)
Анализ ТЗ и ЭЗ	Получение задания; подбор и изучение литературы. Анализ технического задания и схемы электрической принципиальной.	15 % Расширенное ТЗ	До 5 дней 1—2
Техническое предложение	Анализ выполнимости конструктивных ограничений; анализ габаритных и компоновочных параметров; выявление и предварительная проработка оригинальных элементов, несущих конструкций; анализ применимости методов и способов защиты от внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, используемых в аналоге, прототипе; поиск формы изделия. Анализ выполнения, технических, эргономических и эстетических ограничений. Выделение и согласование дополнительных требований ТЗ и методов конструирования.	25 %  Эскизы	2  2—3  2—3
Эскизный проект	Поиск технических решений оригинальных элементов и сборочных единиц. Проработка конструктивного решения изделия: поиск вариантов конструктивного решения; оценка вариантов по интегральному показателю качества; оптимизация конструктивного решения	40 %  Эскизы Сборочный чертеж	3—4  4—5  5—6

Этап разработки	Наименование работ	Контроль Вид отчетности	Срок выполнения (неделя)
Технический проект	Окончательная конструкторская проработка: конструирование печатных плат, уточнение конструктивных материалов, несущих конструкций, защита от механических нагрузок и других внешних факторов, обеспечение теплового режима. Проверочные расчеты для оценки уровня качества.	60 %	7—8
		Эскизы Расчеты	9—10
Рабочее проектирование	Разработка чертежей сборочных единиц и оригинальных деталей Разработка сборочного чертежа изделия Разработка спецификаций Составление пояснительной записки, ведомости курсового проекта и окончательное оформление всех документов. Подготовка и защита курсового проекта	85 %	11—12 12—13
		Чертежи сборочных единиц и оригинальных деталей спецификации.  100 % Проект в целом	14—15  16 17

В повышении качества и эффективности обучения, как известно, большую роль играют технические средства (ТС), из которых можно рекомендовать следующие:

ТС информации, обеспечивающие эффективное представление большей по объему информации, необходимой для самостоятельной работы обучающегося; способствующие лучшему ее восприятию (учебные кино- и диафильмы, телеконсультации и т. д.);

ТС обучения и тренировки, используемые для формирования навыков работы (автоматизированные обучающие системы (АОС), выполненные на базе АРМ конструктора, сопряженные через блоки группового управления с 10—16 дисплеями);

вспомогательные ТС, к которым относят устройства механизации трудоемких процессов, экономящие учебное время студента.

Кроме того, полезно иметь макеты реальных конструкций ЭЭС различных структурных уровней и поколений с графичес-

ким материалом, представленным, например, в виде альбомов чертежей.

Использование АОС должно обеспечивать решение задач по теме проекта в диалоговом режиме. Причем каждое действие студента может быть принято АОС или отвергнуто. При последнем варианте система в зависимости от вида допущенной ошибки воспроизводит на дисплее вспомогательный текст, что позволяет исправить ошибку, либо указывает разделы учебника, которые должен изучить студент прежде, чем продолжить решение задачи. В режиме контроля знаний и готовности студента к защите проекта система задает ему вопросы. По результатам ответов на дисплее выводится итоговая оценка, а также информация (если это необходимо) о том, какие темы и по каким источникам необходимо дополнительно изучить.

Для повышения эффективности данного этапа обучения можно рекомендовать включение в защиту взаимного рецензирования обучающимися курсовых проектов. Рецензент должен показать свое умение разбираться в технических решениях, содержащихся в других проектах, находить их сильные и слабые стороны. Защищающему проект студенту предоставляется возможность ответить на замечания рецензента. Качество рецензии может учитываться при окончательной оценке рецензентом курсового проекта.

## 1.6. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Системный подход* есть такая методологическая концепция, при которой научно-технические объекты, объекты в природе и обществе рассматриваются как системы, т. е. как объединения элементов, находящихся в определенном отношении друг к другу и выступающих как единое целое по отношению к внешней среде. Он позволяет увидеть исследуемую систему как целостный, единый комплекс взаимосвязанных элементов, объединенных общей целью функционирования, дает возможность расширить внутренние и внешние свойства системы.

Суть системного подхода как методологической концепции можно сформулировать в виде следующих основных положений:

любой изучаемый объект или явление можно представить как систему;

конкретный вид системы определяется не столько элементами и связями, сколько тем, какое поведение объекта исследуется;

одна и та же подсистема может обладать одновременно различными характеристиками, функциями и даже принципами построения;

исследование системы неотделимо от среды, в которой она

функционирует. Система всегда изучается как подсистема системы более высокого ранга;

описание элементов системы не является определяющим, поскольку каждый из элементов описывается не изолированно, а с учетом его места в «целом»;

изучение свойств и функционирования элементов вне зависимости от связей системы не имеет смысла;

свойства, возникающие при объединении элементов в систему, не сводятся к простой сумме свойств элементов.

Иными словами, с точки зрения системного подхода «целое» не является простой комбинацией своих подсистем, но оно обладает свойствами, которых нет ни у одной из частей в отдельности, причем «целое» считается более важным, чем части, а взаимодействие элементов — более важным, чем сами элементы.

Применительно к сложным РЭС сущность системного подхода можно сформулировать в виде ряда основных принципов.

**1. Принцип цели.** Состоит в выделении цели или множества целей, достижение которых является результатом функционирования исследуемой системы.

**2. Принцип соответствия системы цели.** Состоит в выделении комплекса технических средств, которые рассматриваются как система, в результате функционирования которой должно обеспечиваться достижение цели.

**3. Принцип иерархии систем.** Выделенная система рассматривается, с одной стороны, как подсистема некоторой суперсистемы, а с другой — как система, состоящая из ряда подсистем.

**4. Принцип субоптимальности.** Данный принцип состоит в том, что оптимальное поведение системы не требует оптимального (в локальном смысле) поведения подсистем.

**5. Принцип иерархии целей.** Он состоит в подчинении функционирования системы целям системы более высокого уровня.

Будучи методологической концепцией, системный подход не содержит в себе конкретных средств решения задач анализа и синтеза систем. Он способствует, главным образом, выработке правильного метода мышления о процессе управления и окружающем мире и предписывает исследователю определенный образ действия.

*Конструкция РЭС* обладает всеми сформулированными выше признаками, присущими системе. Конкретизируя их, целесообразно отметить следующие особенности:

наличие конструктивной иерархии;

наличие вполне определенных связей между элементами конструкции;

пространственная упорядоченность во взаимном размещении и ориентации структурных уровней конструкции и элементов, входящих в их состав;



наличие внешних воздействий на конструкцию;  
способность конструкции нормально функционировать с заданными показателями, определяемыми техническими и эксплуатационными характеристиками;

наличие связей между человеком и конструкцией как элементами эргодической системы;

Отмечая свойства, присущие РЭС, следует особо подчеркнуть, что функциональное предназначение радиоэлектронного изделия определяет специфику и особенность конструктивного решения каждого структурного уровня и РЭС в целом. Они проявляются в особенностях организации пространственной структуры изделия, в способах конструктивной реализации необходимых связей между элементами конструкции, в методах конструктивного обеспечения электромагнитной совместимости и электрической прочности, теплоотвода, в конструктивных мерах защиты от действия дестабилизирующих факторов для заданных условий эксплуатации, в конструктивной реализации оптимальных связей человека с РЭС.

Определяющее значение в конструкциях РЭС имеют связи между составляющими элементами, которые по их природе могут быть разделены на геометрические, кинематические и физические [19]. Кроме того, связи разделяются на связи с объектом, с окружающей средой, с человеком-оператором и связи с производством, изготовляющим конструкцию. Связи в данной конструкции определяют ее существо, ее свойства, а также отличие данной конструкции от других, т. е. они самым подробным образом описывают и характеризуют конструкцию.

Любое свойство конструкции имеет две стороны: количественную и качественную. Величины, характеризующие свойства конструкции количественно, называются *параметрами*. Понятно, что любая конструкция РЭС обладает множеством параметров, которые классифицируются одинаковым со свойствами образом. Качественно свойства конструкции отображаются *структурами*, которые можно определить как схему устойчивых связей между элементами конструкции. Именно схема связей приводит к тому, что различные свойства конструкции могут быть получены из одних и тех же элементов, если они связаны между собой различно, т. е. имеют различные структуры. Конструкцию определяют не только структура, но и параметры и воздействия на нее. Эти воздействия суть характеристики связей конструкции со средой, объектом и человеком — оператором, и они составляют часть общего многообразия связей конструкции.

Таким образом, конструкция характеризуется многими *структурами, параметрами и воздействиями*. Поэтому здесь мы

имеем дело с математическими множествами структур, параметров и воздействий.

В соответствии с современной классификацией типовая структура конструкции радиоэлектронной аппаратуры, базирующаяся на элементном базисе, содержит четыре уровня — от нулевого до третьего [1,4]. Нижним, нулевым, структурным уровнем конструкции являются печатные узлы (ячейки), а в микроэлектронном исполнении — гибридно-интегральные узлы. Структурные единицы первого уровня (модули М1) образуются путем сборки узлов нулевого уровня на базовой несущей конструкции модуля М1, в качестве которой служит рама, кассета. На несущей конструкции модуля М1 может устанавливаться несколько ячеек. Структурными единицами второго уровня — модулями М2 являются блоки, автономные или встраиваемые в приборную стойку (шкаф). Модули М2 образуются путем установки модулей первого уровня на несущей (базовой) конструкции второго уровня, в качестве которой используется каркас, корпус. Если блок — функционально и эксплуатационно законченный прибор, то он является структурной единицей высшего уровня. Третий структурный уровень представляет собой сложную многоблочную РЭС, конструктивно выполненную в виде стойки, шкафа или стеллажа, которая комплектуется блоками — модулями второго уровня. Примеры конструкций первого, второго и третьего структурного уровней можно посмотреть в работах [3, 4].

Следует подчеркнуть, что все рассмотренные уровни конструкции являются сборочными единицами, и каждый структурный уровень комплектуется модулями более низкого уровня, иначе говоря, в конструкциях РЭС реализуется принцип вхождения структурных единиц низшего уровня в единицы более высокого уровня. Разукрупнение схемы электрической принципиальной РЭС на функциональные узлы и устройства при конструировании позволяет реализовать эти узлы в конструктивных модулях нулевого, первого и более высоких уровней. Объединение модулей в единой конструкции изделия дает возможность создать изделие, обладающее заданными свойствами, отсутствующими у его составных частей.

Необходимость представления конструкции РЭС в виде модулей низших уровней обусловлена рядом факторов. Возможно параллельное проектирование и производство составных частей изделия, что существенно сокращает сроки разработки и изготовления. Появляется возможность унификации и стандартизации, особенно структурных единиц низших уровней, так как по функциональному назначению, техническим данным, габаритным и весовым показателям разработанные модули могут применяться в аппаратуре различного назначения, что увеличивает

объем применяемости. Чем выше уровень унификации и чем более высокие структурные уровни модуль охватывает, тем большие возможности открываются для реализации модульного конструирования РЭС. В конечном итоге использование перечисленных возможностей дает значительный экономический эффект.

*Конструирование РЭС* как объект инженерной деятельности есть процесс поиска, нахождения и отражения в конструкторской документации (КД) формы, размеров и состава изделия, входящих в него деталей и узлов, используемых материалов, комплектующих изделий; взаимного расположения частей и связей между ними, указаний на технологию изготовления — с целью обеспечить производство изделия заданными свойствами.

Результатом конструирования является создание полного комплекта КД, на основе которого организуется производство РЭС. Конкретный состав КД, разрабатываемой на каждой стадии проектирования, определяется ГОСТ 2.102—68. При определении комплектности КД различают основной конструкторский документ, основной комплект КД, полный комплект КД. Основным КД для деталей является чертеж детали, для сборочных единиц, комплексов и комплектов — спецификация. В основной комплект КД входят документы, относящиеся ко всему изделию в целом, например, сборочный чертеж изделия, схема электрическая принципиальная изделия, электромонтажный чертеж изделия. Полный комплект КД — документы, которые включают основной комплект КД на все изделия, а также основные комплекты КД на составные части данного изделия.

## 2. МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ

---

### 2.1. ПРОЦЕСС КОНСТРУИРОВАНИЯ КАК СИСТЕМА

Основой для разработки изделия и последующей постановки его на производство является ТЗ, которое составляется предприятием-разработчиком на основании заявки заказчика. Основные функции, выполняемые предприятиями: заказчиками, разработчиками, изготовителями, и потребителя, а также порядок составления, согласования и утверждения ТЗ, порядок разработки и постановки продукции на производство устанавливает ГОСТ 15.001—88.

Разработка и изготовление изделий в промышленных масштабах — сложный и длительный процесс, который по времени расчленяется на ряд стадий, регламентируемых ГОСТ 2.103—68. Основное назначение разделения процесса проектирования на

временные стадии состоит в последовательной проработке конструкции будущего изделия, в постепенном ее совершенствовании и доведении ее показателей до того уровня, который соответствует требованиям ТЗ. Должны быть выполнены соответствующие расчеты, моделирование, изготовлены и испытаны макеты. Многостадийность отражает итеративный процесс поиска конструктивного решения в многомерном пространстве параметров, выражающем основные свойства конструкции. Сложность поиска оптимального варианта решения состоит в необходимости удовлетворения разнообразным и противоречивым требованиям ТЗ.

Представление поиска конструктивного решения как системы позволяет установить общие закономерности направленного мышления конструктора для достижения конечного результата, т. е. решения проблемы. Современная наука характеризуется комплексным системным подходом к изучению явлений и построением собственно процесса познания их закономерностей в виде системы. Процесс конструирования как система может быть описан схемой, изображенной на рис. 2.1 [26]. Основными системными объектами являются: вход, процесс, выход, модель выхода, сравнение, обратная связь.

*Вход* — это совокупность факторов, побуждающих систему к действию. Такими факторами являются требования ТЗ и ограничения при конструировании.

*Процесс* — это собственно поиск и генерирование вариантов конструкторских решений и представление их в виде КД.

*Выход* — это конкретный вариант решения, описывающий свойства конструкции, ее параметры и воздействия.

*Модель выхода* — это идеализированный вариант решения проблемы, в рассматриваемом случае — идеальная модель конструкции, параметры которой полностью соответствуют требованиям ТЗ и улучшенным характеристикам прототипов конструкций.

В блоке сравнения сравниваются качественные и количественные показатели конструкции, соответствующие выбранному варианту решения, с показателями идеализированной модели. Сравнение осуществляется по заранее выбранным критериям. В случае, если имеются различия в показателях разработанного варианта и модели выхода, обратная связь побуждает систему к генерированию нового варианта конструкторского решения (или определенной переделке отдельных конструктивных решений предыдущего варианта разработки), и далее все операции повторяются. Выход из системы соответствует той ситуации, когда расхождения в блоке по выбранным критериям отсутст-

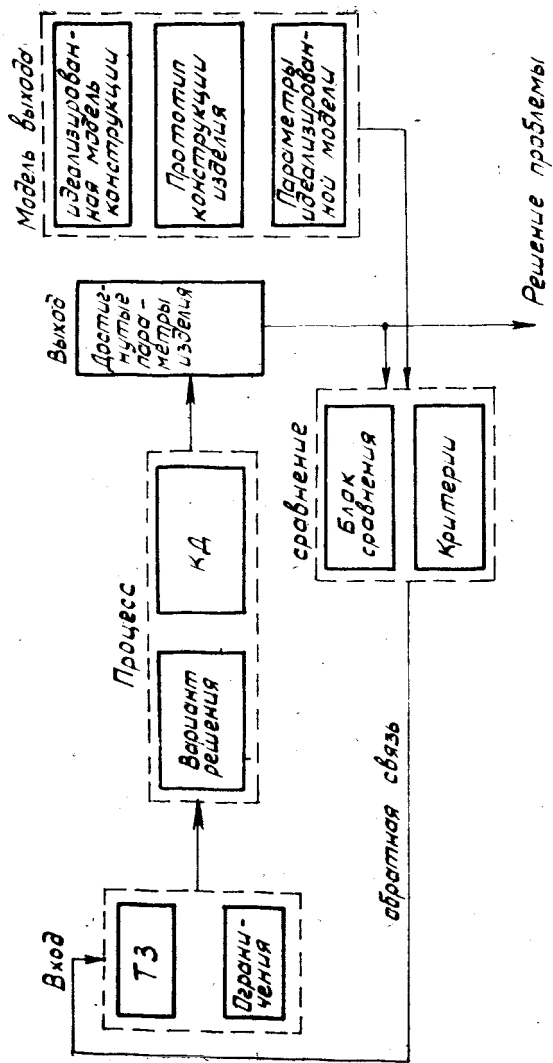


Рис. 2.1. Процесс конструирования как система

вуют. Это означает, что поставленная цель достигнута, проблема решена.

Естественно, что описанная схема достаточно абстрактна и намечает лишь общие контуры решения. Тем не менее ее сущность отражает системный подход к решению проблемы. В ней отчетливо просматриваются сочетания методов синтеза (построение конструктивного решения), анализа (в целях установления показателей разработанного варианта конструкции и соответствия их заданным по ТЗ) с последующим синтезом (построение нового варианта конструкторского решения).

## 2.2. МЕТОДИКА ПОИСКА КОНСТРУКТОРСКОГО РЕШЕНИЯ

Алгоритм проектирования любой конструкции РЭС определяется логикой действий конструктора, основные правила которых могут быть сведены к следующему:

определить ядро задания, так как в нем заложена совокупность всех возможных решений;

комбинируя все возможные конструктивные элементы, определить все возможные варианты решения задачи;

определить содержащиеся в каждом варианте решения недостатки;

устранить или уменьшить до минимума действие тех недостатков, которые поддаются этому;

отыскать решения с наименьшим числом недостатков (определение наилучшего варианта);

создать документацию для практической реализации наилучшего варианта.

Для начинающего конструктора РЭС процесс принятия решения может состоять из следующих этапов.

1. *Постановка задачи* — формирование технико-экономических и специальных требований к изделию (стадия проектирования — ТЗ и техническое предложение).

2. *Поиск решения* — подбор вариантов конструкций, удовлетворяющих сформулированным на 1-м этапе требованиям, или разработка нового варианта (стадия проектирования — эскизный проект).

3. *Построение модели* — формализация идей и принципов, заложенных в проекте.

4. *Оптимизация* — процесс применения формальных методов для отыскания наилучших характеристик выбранного проекта по его абстрактной модели.

5. *Анализ* — оценка соответствия проекта заданным показателям качества и ограничениям.

6. *Принятие решения* — выбор предпочтительного варианта из выбранных по критерию качества (стадия проектирования — технический проект).

7. *Выполнение решения* — разработка КД на выбранный вариант конструкций РЭА (стадия проектирования — рабочий проект).

8. *Оценка полученного результата* — сравнение показателей и параметров разработанного изделия с ТЗ.

В процессе проектирования РЭС наиболее ответственными являются этапы поиска и принятия решения. Схема алгоритма работы конструктора, решающего конструкторско-технологическую задачу, представлена на рис. 2.2. Сначала конструктор выясняет, какие из уже имеющихся решений можно взять без

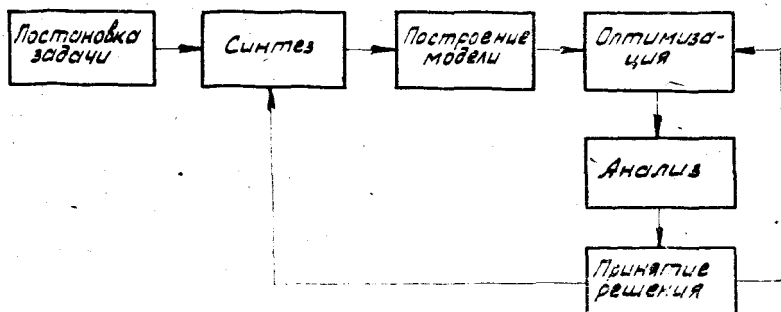


Рис. 2.2. Процесс поиска решения

изменений. Если таких решений нет, то пытаются использовать и приспособить наиболее близкие конструкторские аналоги. Если и таковых нет, то он заново разрабатывает изделие или его блоки, узлы и элементы.

При курсовом проектировании перед студентом обычно стоит задача подобрать пригодные для сравнения варианты технического решения поставленной задачи, выбрать и доработать какое-либо одно техническое решение.

Приводимая на рис. 2.3 схема последовательности конструкторской разработки соответствует системному подходу, отражает методику и логику конструирования и является в известном смысле конкретизацией рассмотренной в предыдущем пункте схемы (см. рис. 2.1). В то же время она дает общее представление о характере работы, выполняемой на основных этапах конструирования РЭС, и описывает принципы, используемые при конструкторской разработке. Приводимая схема в основном

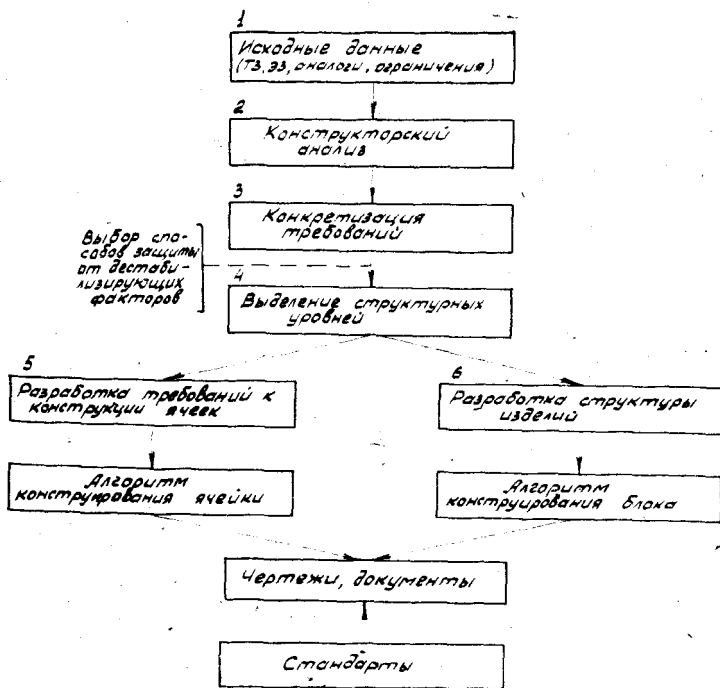


Рис. 2.3. Общий алгоритм методологии конструирования РЭС

соответствует стадиям технического проекта и рабочего проекта опытного образца.

На схеме рис. 2.3 обозначены блоки, соответствующие определенным этапам конструкторской разработки.

В блоке 1 представлены исходные данные для конструирования. К исходным данным относятся ТЗ, ЭЗ с перечнем всех электрорадиоизделий (ЭРИ), конструкторские аналоги и ограничения. В качестве ограничений выступают технические возможности производства, нормативные документы, перечень запрещенных к использованию материалов.

Блок 2 приведенной схемы определяет начальный этап творческой работы конструктора после получения ТЗ — конструкторский анализ исходных данных. 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.

При анализе требований ТЗ необходимо уделить внимание той группе требований, которая связана с конструктивными особенностями разрабатываемого изделия, условиями его эксплуатации, объемом производства.

При анализе ТЗ необходимо установить: 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* целесообразно проводить на уровне функциональной схемы. При этом удастся 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 проведенного 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 кон-

структивные методы обеспечения нормального функционирования изделия. При таком анализе производится также оценка схемной надежности. Сопоставление данных, полученных на основе анализа условий эксплуатации, с характеристиками ЭРИ позволяет конструктору сделать обоснованные выводы.

При анализе 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 преэминентность конструкторской разработки. При изучении конструкций РЭС 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 конструктивных материалов от коррозии, 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.

### **2.3. КОНКРЕТИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ. ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ УРОВНЕЙ КОНСТРУКЦИИ**

По результатам конструкторского анализа необходимо сформулировать конкретные требования к конструкции (блок 3 на рис. 2.3) и при необходимости разработать дополнительные. Основное внимание следует сосредоточить на уточнении следующих требований и указаний:

- по выбору типоразмера корпуса конструкции;
- по размещению органов управления, индикации и регулирования на лицевой и других панелях прибора;
- по размещению элементов и органов внешней стыковки изделия с другими приборами, в том числе по способам подсоединения к источникам питания;

по методам защиты от вибраций и ударов, способам крепления и контровки конструктивных узлов на несущих элементах конструкции;

по обеспечению ремонтпригодности;

по способам обеспечения нормального теплового режима;

по защите от коррозии, обеспечению герметизации;

по применению стандартных и унифицированных узлов.

Формулируются также другие требования, не содержащиеся в общем ТЗ, но которые необходимы при детализации разработки.

Этап выделения структурных уровней конструкции (блок 4) выдвигает задачу разукрупнения исходной схемы ЭЗ на функциональные узлы (ФУ) и устройства с тем, чтобы реализовать их в конструктивных модулях. Самым сложным и ответственным элементом при выделении структурных единиц является формирование модулей низших уровней. Комплектование структурных единиц низших уровней рекомендуется производить с использованием следующих основных принципов:

функциональная законченность;

электромагнитная, тепловая, механическая совместимость; технологичность.

Использование принципа функциональной законченности означает, что в состав структурной единицы включают одно или несколько функциональных устройств, придающих ей функциональную завершенность.

Использование принципа электромагнитной совместимости состоит в том, что в состав структурной единицы включают также элементы и функциональные узлы, которые при функционировании в режиме, предусмотренном схемой, не вызывают изменения выходных параметров устройства сверх установленных допусков вследствие взаимных паразитных связей и наводок.

Применение принципа тепловой совместимости состоит в том, что в состав данной структурной единицы включают такие элементы и функциональные узлы, которые при функционировании в режиме, предусмотренном схемой, не вызывают изменения выходных параметров устройства сверх установленных допусков вследствие перегрева.

Соблюдение принципа механической совместимости означает, что в состав структурной единицы нецелесообразно включать одновременно очень тяжелые и очень легкие, чувствительные к механическим воздействиям элементы.

Технологичность означает обеспечение удобства размещения элементов и электрообмотки, возможность использования автоматического оборудования для установки и контроля, удобства

крепления и выполнения связей с другими элементами конструкции.

Данные принципы используются также при формировании структурных единиц высших уровней.

В курсовом проектировании ориентировочное число модулей (ячеек) первого уровня, из которых будет состоять проектируемое изделие, определяют следующим образом. Используя метод аналитической компоновки, определяют размеры подложек ячеек для размещения функциональных устройств данного уровня в соответствии с выражением

$$S = \frac{\sum_{i=1} S_{si}}{k_s};$$

где  $S$  — требуемая площадь подложки ячейки, см<sup>2</sup>;

$S_{si}$  — установочная площадь ЭРИ, входящего в состав модуля, см<sup>2</sup>;

$k_s$  — коэффициент заполнения площади подложки.

Установочные размеры и площади ЭРИ берут обычно из паспортных данных. Некоторые сведения об установочных размерах ЭРИ содержатся в работах [2, 10].

Коэффициент заполнения площади подложки  $k_s$  имеет значения:

0,4 ... 0,6 — для элементной базы 2 и 3-го поколений;

0,4 ... 0,8 — для элементной базы 3 и 4-го поколений.

Зная габаритные размеры изделия (указаны в ТЗ), ориентировочно определяют типоразмер ПП для модулей первого уровня. При этом желательно использовать унифицированный ряд размеров ПП (ГОСТ 10317—79 «Платы печатные. Основные размеры»): 170 × 75, 170 × 150, 170 × 200 мм.

Разделив  $S$  на площадь ПП выбранного типоразмера, можно получить число модулей первого уровня. Естественно, такой подход является оценочным; число модулей можно скорректировать исходя из условий эксплуатации, назначения изделия, состава его электрической функциональной схемы, применяемого технологического процесса изготовления и т. д. Кроме того, часть электрических компонентов, такие как устройства управления и индикации, выходные и входные элементы электрической коммутации, не могут быть размещены на ПП — они устанавливаются на переднюю или заднюю панель изделия. При функциональном разукрупнении ЭЗ такие элементы должны быть заранее выделены в отдельную подсхему.

Таким образом, на рассматриваемом этапе конструкторской разработки определяется количество и состав всех структурных единиц. Дальнейшие этапы конструирования могут идти по двум

возможным путям (блоки 5 или 6), как показано на схеме рис. 2.3. Рассмотрим задачи, решаемые на этапе 6.

#### **2.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА И КОМПОНОВКА КОНСТРУКЦИИ**

На данном этапе (блок 6) выполняется предварительная разработка пространственной структуры. При этом определяют форму изделия, габариты всех структурных единиц и всего устройства, выполняется компоновка, т. е. размещение всех конструктивно-функциональных узлов (КФУ) в объеме конструкции. В зависимости от уровней модульности различают несколько уровней компоновки устройства: микросхем и ЭРИ на плате, ячеек в блоке, блоков в устройстве и т. д. При компоновке должны быть учтены требования оптимальных функциональных связей между КФУ, их устойчивость и стабильность, требования прочности и жесткости, помехозащищенности и нормального теплового режима, требования технологичности, эргономики, удобства эксплуатации, ремонта. Качество вариантов компоновки оценивается путем проведения соответствующих поверочных расчетов, методика которых изложена в разд. 3, а также в [11], и сопоставления полученных значений с соответствующими данными лучших образцов РЭС, являющихся конструкторскими аналогами. Этап компоновки завершается разработкой компоновочного эскиза, дающего представление о пространственной структуре разрабатываемого изделия.

Более подробно рассмотрим последовательность выполнения вариантов компоновки КФУ в РЭС. Выбор варианта конструкции осуществляют исходя из ТЗ и условий производства. По условиям производства рекомендуется применять однотипные конструкции ячеек, элементы несущих конструкций, электрические межсоединения, элементы фиксации и крепления.

При компоновке модулей всех уровней необходимо выделить достаточное пространство для межсоединений. Варианты компоновки КФУ РЭС разъемной, книжной и касетной конструкции хорошо изложены в работах [3, 4, 10].

Одной из важнейших задач, решаемой при компоновке, является выбор типа внутриблочного электрического монтажа, который определяется используемой элементной базой, рабочим диапазоном радиочастот, условиями эксплуатации и вариантом конструкции КФУ. Основными конструктивными элементами электромонтажа являются: элементы экранирования и заземления; провода, кабели и материалы для монтажа; элементы крепления провода, жгута и кабеля; соединительные элементы электрического монтажа; одно- и многослойный печатный монтаж; мон-

тажные соединения приборов, блоков и КФУ РЭС. Рекомендации по конструированию электрических соединений можно найти в литературе [20].

После выбора варианта конструкции изделия и типа электрического монтажа необходимо произвести предварительные расчеты теплового режима, вибро- и ударпрочности, а также таких показателей, как масса, коэффициент заполнения объема, надежность (методика расчета приведена в разд. 3).

На этапе предварительной разработки конструкции КФУ необходимо решить следующие основные вопросы, связанные с защитой от дестабилизирующих факторов:

необходимость герметизации корпуса КФУ;

защита РЭС от воздействия ионизирующего излучения (если оно существует);

выбор способа защиты от механических воздействий: вибрации и ударов;

выбор способа защиты от действующих электромагнитных помех и паразитных наводок;

выбор способа обеспечения нормального теплового режима КФУ.

Наиболее эффективным способом защиты элементов РЭС от влаги, пыли, песка, плесневых грибков является герметизация. Различают индивидуальную, общую, частичную и полную герметизацию. Необходимо учитывать, что герметичность корпуса во многом определяет внешняя коммутация. Для внешних соединений по цепям питания, ввода и вывода низкочастотных сигналов используются специальные гермовводы типа РСГ или РПС1, для ввода-вывода СВЧ-сигналов — коаксиально-полосковые вакуум-плотные соединители.

При воздействии механических нагрузок на КФУ РЭС происходит деформация и перемещение элементов конструкции и ЭРИ. На этапе компоновки и разработки конструкции КФУ необходимо обеспечить как минимум вибро- и ударпрочность изделия. При этом можно использовать следующие критерии прочности [13, 24]:

непересечение множества частот спектра действующих нагрузок и множества частот собственных колебаний блока и его элементов;

непревышение действующих на конструктивные элементы перегрузок допустимых уровней, которые определяются типом ЭРИ, используемыми материалами;

непревышение возникающих в системе перемещений допустимых уровней, которые определяются конструкцией КФУ, имеющимися зазорами в системе, например расстоянием между соседними платами.

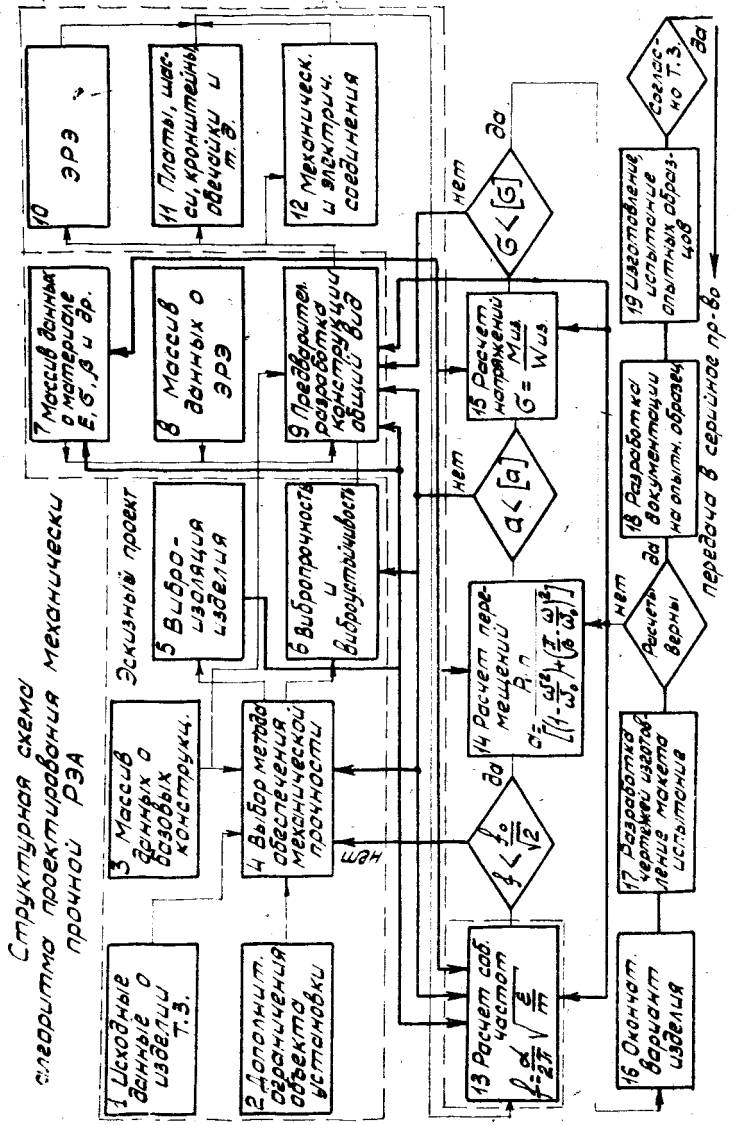


Рис. 2.4. Структурная схема алгоритма проектирования механически прочной РЭА

Планирование работ по обеспечению вибропрочности РЭС, работающей в условиях механических воздействий, желательно начинать на стадии технического предложения или эскизного проекта.

Рекомендуется следующий алгоритм работ механически прочной РЭС (рис. 2.4).

1. На первой стадии выбирают способ обеспечения вибропрочности на основе анализа механических воздействий, указанных в ТЗ. Обосновывают оптимальные частоты собственных колебаний конструкций (частоты, которые обеспечат наименьшие коэффициенты динамичности в процессе эксплуатации).

2. Проводят упрощенные расчеты собственных частот колебаний тех элементов, которые способны выдерживать меньшие механические воздействия (элементы малой жесткости). Для проведения расчета подбирают расчетные модели, для которых имеются математические зависимости частоты от формы и материала.

3. Если приближенные расчеты показали, что частота собственных колебаний больше заданной примерно в 1.5—2 раза, то считается, что конструкция выдержит испытание и более точного расчета производить не надо. Если же приближенный расчет показал, что собственная частота  $\omega_0$  находится в диапазоне частот внешней силы  $\Omega$ , то следует не уточнять расчет, а изменять конструкцию сборочных единиц и деталей с целью повышения ее собственной частоты для исключения возможного резонанса.

4. Для деталей и сборочных единиц, имеющих отношение  $\Omega/\omega_0 < 2$ , и для деталей, расположенных близко друг к другу, следует определять виброперемещение и сравнивать его с достижимым значением. По результатам расчета проводят корректировку способов крепления, материала и формы деталей.

5. Для деталей, форма или другие параметры которых претерпели изменения в процессе расчетов и конструирования, а также для остальных изделий, которые способны выдерживать небольшие механические воздействия, повторяют расчет собственных частот и виброперемещений. После этого проводят расчет напряжений в опасных сечениях и сравнивают полученные значения с допустимыми. В качестве допустимых напряжений принимают предел выносливости материала  $\sigma_{-1}$ .

Существующие способы защиты РЭС от механических нагрузок можно разделить на три группы.

1. Смещение спектра частот собственных колебаний в более высокочастотную область, что приводит к достижению значения коэффициента динамичности при заданной вибрации близкого



к единице ( $\mu \approx 1$ ); как следует из соотношения  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\kappa}{M}}$ , увеличить значение частоты собственных колебаний  $f_0$  можно, уменьшив массу блока  $M$  или увеличив жесткость конструкции  $\kappa$ . Масса блока определяется главным образом элементной базой, существенное снижение которой достаточно сложно. Наиболее распространены методы повышения жесткости конструкции за счет изменения способов крепления и площади плат, а также применения ребер жесткости. Влияние способов крепления, размеров и толщины платы на частоту собственных колебаний может быть определено по формулам [17]. Методы эффективны в случае, если диапазон частот действующей вибрации не превышает 400 ... 500 Гц.

2. Улучшение демпфирующих свойств конструкции, которое достигается включением в конструкции плат специальных демпфирующих покрытий из вибропоглощающих материалов, внутреннее трение которых в десятки и сотни раз больше, чем у стеклотекстолита.

3. Смещение частоты собственных колебаний конструкции в область ниже частоты вынужденных колебаний с помощью виброизоляции, которая осуществляется с помощью амортизаторов или применения упругих прокладок. В этом случае коэффициент динамичности становится меньше единицы ( $\mu < 1$ ).

На этапе компоновки в случае необходимости следует произвести выбор типа амортизаторов и схемы их размещения. При выборе схемы амортизации необходимо предусматривать меры по сужению спектра собственных частот и исключению связанных колебаний. При этом следует учитывать:

- совмещение центра тяжести с центром масс;
- равное нагружение каждого амортизатора;
- совмещение центра тяжести с центром жесткости;
- симметричное крепление амортизаторов относительно координатных плоскостей;

установку на амортизаторы ограничителей, препятствующих разрушению упругих элементов. После выбора схемы амортизации производят статический и динамический расчеты, методика которых приведена в [18, 19]. Основные параметры различных типов амортизаторов приведены в [19, 24].

При компоновке РЭС необходимо решать вопросы электромагнитной совместимости КФУ, в частности защиты от электромагнитных, электрических и магнитных помех. При этом производятся следующие действия.

1. Выделяют источники и приемники помех, определяют максимальное значение сигналов помехи на входах схем.
2. Размещают элементы схем, тщательно продумывают рас-

положение монтажных проводов (уменьшают петли связи, увеличивают зазоры между проводниками, уменьшают длины совместного прохождения проводников и т. д.).

3. Усложняют схему введения фильтров на линиях входа-выхода, устраняют помехи по линиям электропитания с помощью радиочастотных фильтров.

4. Экранируют входные цепи чувствительных схем.

5. Для элементов РЭС разрабатывают кожухи-экраны.

Мероприятия по п. 2 не требуют дополнительных затрат, а по пп. 3—5 требуют, но, несмотря на это, в некоторых случаях их выполнение оказывается необходимым. Так, для локализации в замкнутом объеме пространства электрического поля применяют экраны, форма которых зависит от экранируемого изделия. Методика расчета эффективности экранирования изложена в [8].

В конструкциях экранов часто необходимо предусматривать отверстия, например, для обеспечения теплового режима, для введения проводов и т. д. Во всех экранах отверстия должны быть расположены так, чтобы не препятствовать протеканию вихревых токов в толще экрана. Как правило, надо избегать большого числа отверстий и больших их размеров. В магнито-статических экранах швы и разрезы не должны идти поперек ожидаемого направления магнитных силовых линий.

Для электростатических экранов всех видов очень важно хорошее заземление, характеризующееся малым сопротивлением заземляющего провода, который должен быть как можно более коротким и толстым. При экранировании электрических полей высокой частоты и наличии больших экранов целесообразно заземлять экран в нескольких точках.

Эффективность экранирования зависит от фильтрации электрических сетей управления, сигнализации, связи и электропитания, проходящих через экран, вводимых в экран и выходящих из него. Фильтры электрических цепей размещают как внутри, так и вне экранов и аппаратуры. К ним предъявляют следующие специфические требования:

малые потери в полосе прозрачности и достаточно высокое затухание во всей полосе задерживания, занимающей очень широкий интервал радиочастотного диапазона;

способность эффективно работать при сильных проходящих токах, высоких напряжениях, высоких мощностях;

сохранение основных технических характеристик в полосах пропускания и задержания при механических и климатических нагрузках.

Для оптимизации межэлементных соединений, монтажа и компоновки модулей и узлов РЭС и с целью удовлетворения

требования помехоустойчивости модулей нужно выполнить некоторые общие рекомендации. При использовании печатного монтажа помехоустойчивость модулей обеспечивают:

рациональная разводка печати с учетом помехоустойчивости микросхем (ИС) путем минимизации длин связей и оптимизации разрешающей способности печати;

применение в многослойных печатных платах (МПП) экранирующей плоскости;

переход к полосковым линиям;

согласование полных сопротивлений полосковых линий с применением ИМС, микросборок и бескорпусных микросборок;

расположение между параллельными проводниками заземленных проводников для частичного экранирования параллельных проводников;

установка низко- и высокочастотных фильтров по каждому номиналу питающего напряжения на печатных платах вблизи электрического соединителя.

Для решения проблемы помехоустойчивости модулей на печатных платах необходимо выполнить ряд условий сопряжения узлов и блоков РЭС, среди которых можно выделить следующие:

применение электрических соединителей, обеспечивающих согласование полного сопротивления и малый уровень перекрестных помех;

применение перехода кабеля, свитых пар и экранирующих проводов через электрические соединители.

При использовании объемного монтажа для обеспечения помехоустойчивости РЭС применяют рациональную разводку объемных проводников с учетом помехоустойчивости микросхем (ИС); согласование полных сопротивлений симметричных двухпроводных линий передачи со свитыми парами и коаксиальными кабелями или экранирующими проводами; преимущественное использование плоских жгутов (кабелей, гибких печатных кабелей (ГПК)); специальные земляные шины в блоках и приборных шкафах; низкочастотные и высокочастотные фильтры в цепях питания; автономные источники питания в блоках; экранирование блоков и приборных шкафов РЭС.

Экранирование является конструкторским средством ослабления электромагнитного поля помех в пределах определенного пространства и предназначено для повышения помехозащищенности и обеспечения электромагнитной совместимости РЭС. Необходимость экранирования обосновывается и рассматривается только после того, как полностью исчерпаны конструкторские методы оптимальной компоновки аппаратуры.

Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационную надежность РЭС, является *тепловой режим*. Совокупность устройств, применяемых для обеспечения нормального теплового режима РЭС, называют *системой охлаждения* (СО). Эта система выбирается на стадии эскизного проектирования, когда известна довольно ограниченная информация: потребляемая блоком мощность  $P_{\text{потр}}$ , мощности входных и выходных сигналов  $P_{\text{вх}}$  и  $P_{\text{вых}}$ , максимальная температура окружающей среды  $t_0$ , примерные габаритные размеры корпуса блока  $a \times b \times c$ , допустимые температуры ЭРИ (из анализа элементной базы)  $t_{\text{доп}}$ , коэффициент заполнения объема блока  $\kappa_3$ . Эти данные можно использовать для предварительного выбора СО. При этом определяют среднюю плотность теплового потока от корпуса блока  $q$ :  $q = P_T/S_K$ , где  $P_T = P_{\text{потр}} + P_{\text{вх}} + P_{\text{вых}}$  — суммарная мощность тепловыделения в блоке;  $S_K$  — условная площадь поверхности теплообмена корпуса блока;  $S_K = 2[ab + (a + b) \kappa_3]$ .

Другим показателем является допустимый перегрев наименее теплостойкого элемента:  $\Delta t = t_{\text{доп}} - t_0$ .

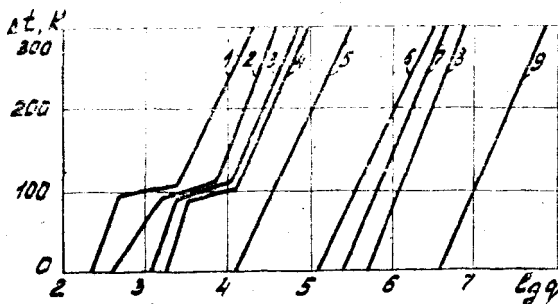


Рис. 2.5. Области применения различных способов охлаждения

На рис. 2.5 приведены графики, характеризующие области целесообразного применения различных способов охлаждения [22]:

- естественное воздушное (области 1 и 2);
  - принудительное воздушное (области 2, 3 и 4);
  - естественное жидкостное (область 4);
  - принудительное жидкостное (области 5, 6 и 7);
  - естественное испарительное (области 6, 7, 8);
  - принудительное испарительное (области 7, 8, 9).
- При разработке СО необходимо:

обеспечить эффективную циркуляцию воздуха между нагреваемыми элементами;

сильно нагревающиеся элементы снабжать ребрами охлаждения;

элементы, наиболее чувствительные к перегреву, изолировать экранами от непосредственного воздействия теплового потока;

обеспечить надежный тепловой контакт между источниками теплоты и поверхностями охлаждения.

Наибольшее применение нашли естественное и принудительное воздушные охлаждения, т. к. они являются наиболее простыми и дешевыми. Однако интенсивность таких охлаждений невелика, поэтому их использование возможно лишь при небольших удельных мощностях рассеивания (до  $1 \text{ Вт/см}^2$ ). Методика расчета СО приведена в п. 3.4.

Предварительная разработка конструкции и компоновка РЭС должны производиться с учетом основного принципа ремонтпригодности— взаимозаменяемости и доступа к сменным КФУ.

## 2.5. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ОЦЕНКА ЕГО КАЧЕСТВА

При разработке конструкции геометрические размеры изделия и его КФУ можно определить одним из двух способов. Первый основан на использовании принципа «от общего к частному», второй — на применении принципа «от частного к общему». Первый из указанных принципов состоит в том, что требования, предъявляемые к структурным единицам высших уровней, являются ограничениями для конструктивных и геометрических характеристик модулей низких уровней (например, на геометрические размеры печатных плат).

При использовании второго принципа после того, как определены (см. рис. 2.3, блок 4) все структурные уровни (их число, состав), рассматриваются форма и размеры сборочных единиц. Затем переходят к этапу разработки (блок 5), на котором формулируются требования для изготовления ячеек и КФУ первого уровня и далее.

В курсовом проекте задания, как правило, содержатся требования проектирования модулей не выше второго уровня. Поэтому при окончательной разработке конструкции можно выделить проектирование блока и ячейки, которая является КФУ (модулем) первого уровня.

Разработка конструкции ячейки. Этот процесс может быть разбит на следующие этапы (рис. 2.6).

1. Выбирается базовая несущая конструкция (БНК) ячейки.

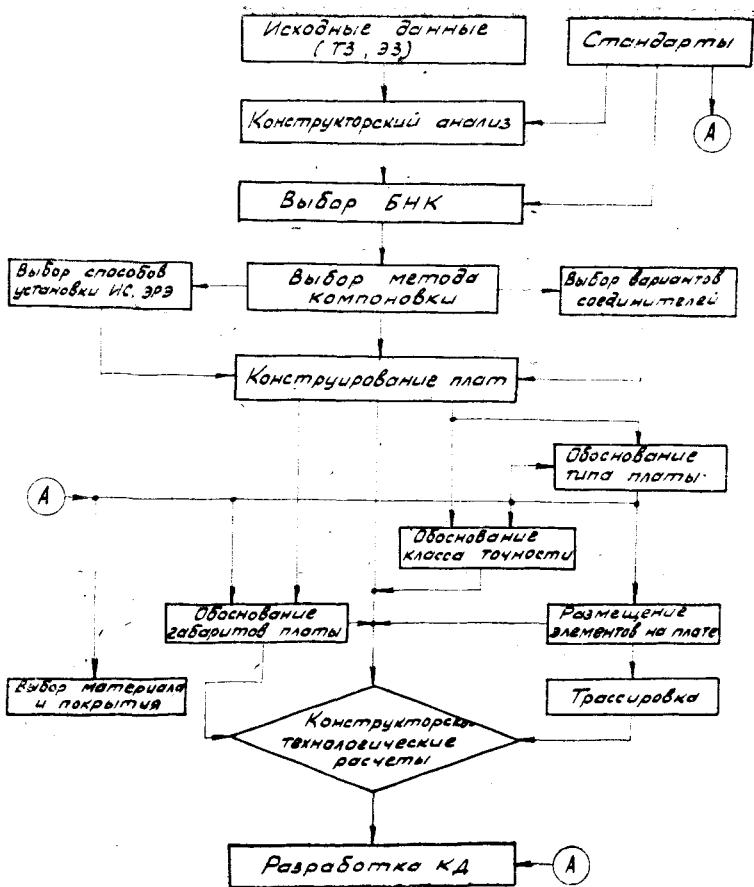


Рис. 2.6. Алгоритм конструирования ячейки

При этом следует учитывать, что для использования при проектировании модульного принципа конструирования разработаны ГОСТ 20504—75 и ведомственные нормы, определяющие системы унифицированных типовых конструкций модулей. Все модули системы должны быть совместимы между собой по конструкционным, электрическим и эксплуатационным требованиям и обеспечивать функциональную полноту при построении изделий определенного назначения. Применение унифицированных БНК позволяет обеспечить комплексное решение задач унификации модулей, существенно сократить сроки и стоимость про-

ектирования РЭС, выполнить требования ремонтпригодности. Конструкции типовых ячеек приведены в литературе [3, 4, 10, 21]. В прил. 2 дан пример оформления сборочного чертежа и спецификации.

2. Решается задача рационального размещения корпусов ИС и ЭРИ на ПП. При этом основными критериями являются: плотность упаковки, обеспечение нормального теплового режима, равномерное распределение масс элементов по поверхности платы. На этом этапе целесообразно использовать автоматизированные методы.

3. Выбирается вариант электрического соединения ячейки с монтажной платой или панелью. Электрические соединения выполняются с помощью соединителей, соединительных плат, переходных контактов, кабелей и монтажных проводов. Соединители используются в ячейках, к которым предъявляют требования легкосъемности и быстрого электрического соединения. Соединительные платы и переходные контакты используют в печатных узлах, к которым предъявляют требования высокой надежности электрических соединений, малых габаритных размеров и массы. Наиболее распространенные соединители приведены в работах [3, 19].

4. Определяется способ установки ИС и ЭРИ на ПП. Выбор варианта установки элементов на ПП производят в соответствии с заданными условиями эксплуатации по ОСТ 4.ГО.010.030 и ОСТ 4.ГО.010.009, а выбор варианта автоматической установки элементов производят в соответствии с ОСТ 4.091.124—79.

5. Конструирование ПП [4, 5, 20, 26]. Разработка конструкции ПП состоит из следующих основных этапов:

изучение ТЗ на изделие (блок), в состав которого входит конструируемая плата;

выбор или обоснование типа ПП;

выбор или обоснование класса точности;

выбор габаритных размеров и конфигурации ПП;

выбор материала основания ПП;

размещение навесных элементов на ПП;

трассировка проводников, размещение элементов проводящего рисунка на ПП;

конструктивно-технологические расчеты;

разработка конструкторской документации.

В зависимости от условий эксплуатации (на основании требований ТЗ на изделие) определяют группу жесткости по ОСТ 4.077.000, обуславливающую соответствующие требования к конструкции платы, проводящему рисунку, используемому материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от климатических, механических и других воздействий.

Основные этапы конструирования ПП рассмотрены в методических указаниях [12].

6. Определяется прочность ячейки в условиях механических воздействий — вибраций и ударов. Методика оценки вибро- и ударпрочности приведена в [14]. При необходимости следует изменить конструкцию ячейки: ввести дополнительные ребра жесткости, вибропоглощающие покрытия, амортизаторы.

7. Проектируется экран, если ячейка работает в условиях воздействия сильных внешних электромагнитных полей, нарушающих нормальную работу. Методика определения требуемой эффективности экрана и расчет его конструктивных параметров приведены в [8, 16].

8. Осуществляется выбор защитных покрытий ПП. Для защиты от влаги печатных проводников применяются органические лаки Э-4100, УР-231 и ЭП-730, обеспечивающие твердое, прочное покрытие, выдерживающее температуру от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Используются также бакелитовые лаки А, Б, ЭФ.

Разработка конструкции блока РЭС (рис. 2.7). В настоящее время конструкции блоков РЭС должны отвечать

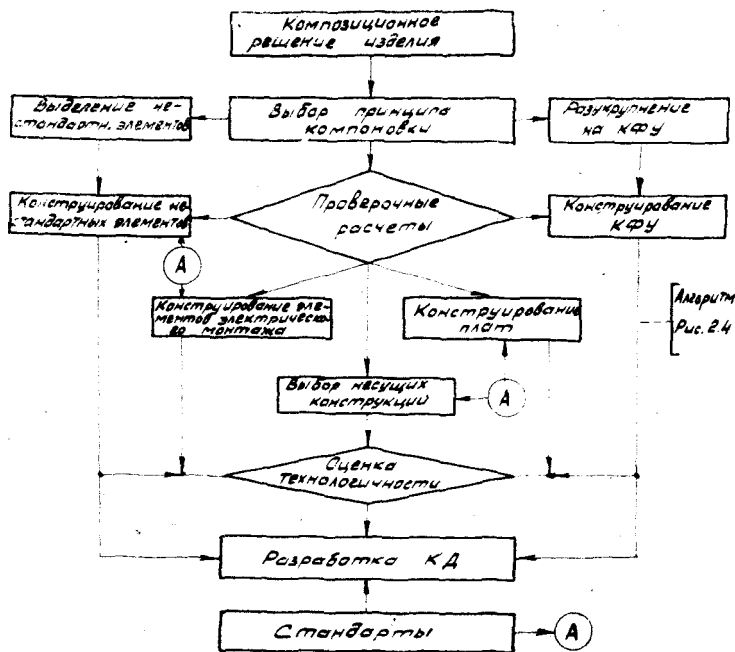


Рис. 2.7. Алгоритм конструирования блока



требованиям модульного конструирования; стандартизации; унификации типоразмеров и ограничению компонентов конструкции; современным методам автоматизированного конструирования; прогрессивным технологическим процессам.

Выбор варианта конструкции блока производят исходя из технических требований, специфичных для разрабатываемой аппаратуры (надёжности, ремонтпригодности, габаритных размеров, массы, тепловых режимов, условий эксплуатации).

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.118—73\* конструктивное построение блока определяется в результате вариантной проработки (двух-трех вариантов компоновки) блоков, их оценки и выбора наиболее рационального варианта, который по согласованию с руководителем проекта принимается за окончательный. По условиям производства рекомендуется применять однотипные конструкции КФУ, элементы несущих конструкций, электрические межсоединения, элементы фиксации и крепления. При этом при компоновке КФУ всех уровней необходимо выделить достаточное пространство для межсоединений.

На рис. 2.8 приведены варианты (а—г) компоновки блоков РЭС разъемного типа. КФУ таких блоков снабжается, как правило, электрическим вилочным соединителем, при помощи которого легко вставляется или удаляется из каркаса блока. В зависимости от ориентации монтажной панели относительно лице-

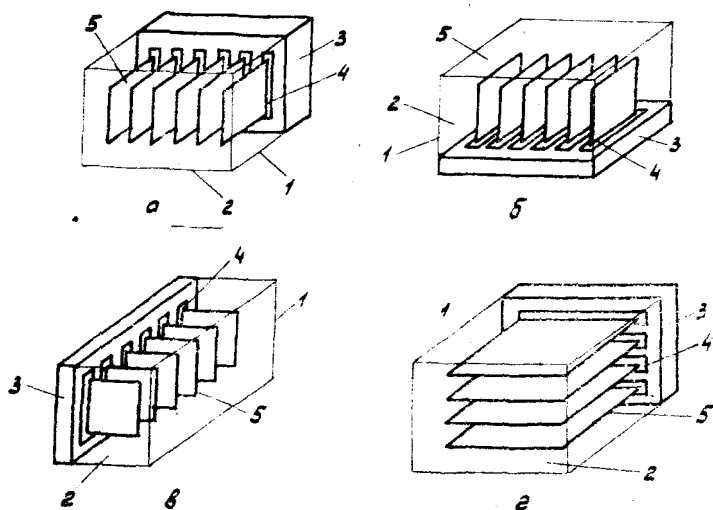


Рис. 2.8. Варианты компоновки блоков РЭС разъемной конструкции: 1—каркас, 2—лицевая панель, 3—монтажная панель, 4—соединитель, 5—КФУ

вой панели и расположения КФУ блока существует четыре разновидности компоновки блока: вертикально-поперечное расположение монтажной панели с вертикальной ориентацией КФУ (вариант *а*); горизонтально-поперечное (вариант *б*); вертикально-продольное (вариант *в*) и вертикально-поперечное расположение монтажной панели с горизонтальной ориентацией КФУ (вариант *г*).

На рис. 2.9 представлены варианты компоновки блоков РЭС книжной конструкции: вертикальная (вариант *а, в*) и горизон-

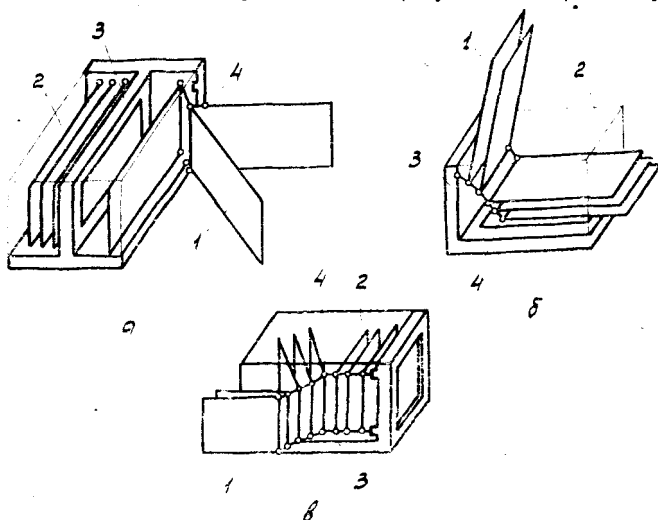


Рис. 2.9. Варианты компоновки блоков РЭС книжной конструкции: 1—КФУ, 2—кожух, 3—задняя панель, 4—шарнирный узел

тальная (вариант *б*) ориентации КФУ в блоке. Механическое объединение КФУ между собой и с несущей конструкцией обеспечивается шарнирными узлами, позволяющими поворачивать относительно оси раскрытия КФУ подобно страницам книги. Межсоединения выполняются объемными проводниками, печатными жгутами, фиксированным паяным соединением. На задней панели устанавливается внешний соединитель.

Варианты компоновки блоков РЭС кассетной конструкции представлены на рис. 2.10. Кассеты механически соединяются между собой и с несущей конструкцией блока шарниром, позволяющим откидывать и контролировать любую кассету. В режиме контроля предусматривается фиксация кассеты в откинутом состоянии. Межсоединения выполняются объемными про-

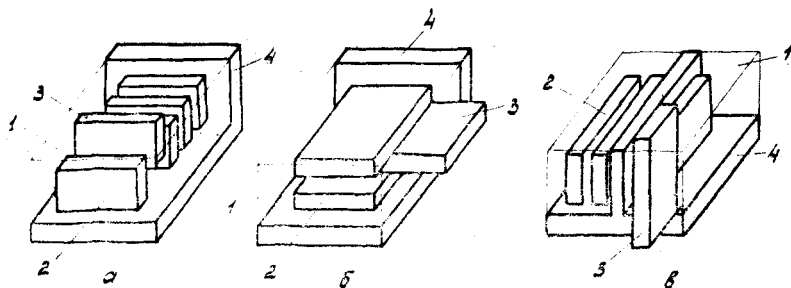


Рис. 2.10. Варианты компоновки блока РЭС cassetteй конструкции: 1—корух, 2—кассета, 3—откиннутая кассета, 4—несущая конструкция

водниками, жгутами, фиксирующими соединениями, соединителями. При этом необходимо предусмотреть подвижность монтажа искусственным увеличением его длины для обеспечения откинутого состояния кассеты. Возможна вертикальная (варианты *а, в*) и горизонтальная (вариант *б*) ориентации кассет в блоке.

Примеры компоновочных эскизов РЭС с различными вариантами компоновки блоков приведены в [4, 10, 16].

В разработке конструкции блока можно выделить следующие этапы (см. рис. 2.7).

1. Выбор БНК модулей первого или второго уровней. Модулем второго уровня являются блоки. В некоторых случаях целесообразнее разрабатывать оригинальную несущую конструкцию. Это позволяет повысить коэффициент заполнения объема, уменьшить массу и габаритные размеры изделия.

2. Проектирование или выбор элементов несущих конструкций. При этом рекомендуется использовать специализированные профили. Наиболее часто применяемые профили приведены в работе [20, 25]. При конструировании элементов несущих конструкций, обладающих минимальной массой, следует придерживаться следующих рекомендаций:

- широко применять легкие сплавы и пластмассы;
- обеспечить высокую жесткость способами, не требующими увеличения массы;
- выполнять все элементы конструкции равнопрочными без большого запаса по прочности;
- упрощать несущую конструкцию до наименьшего числа деталей;
- выбирать рациональную форму профилей несущих конструкций;

вводить в детали различные отверстия, выемки, проточки во избежание лишнего материала, не несущего нагрузки; повышать жесткость конструкции путем введения в тонколистовые детали отбортовки, зигов и выдавки.

При этом особое внимание следует уделить выбору технологического варианта исполнения конструкции (литье, сварка и т. д.); марки конструкционного материала; метода осуществления соединения деталей (свинчивание, сварка и т. д.).

Вопросы конструирования элементов несущих конструкций рассмотрены в работах [4, 13, 24].

3. Проектирование элементов крепления и фиксации, которые должны обеспечивать требуемую надежность соединения при минимальных массогабаритных показателях. При этом рассматриваются: способы крепления отдельных узлов конструкций; конструкции направляющих, штырей, ловителей и т. д.; варианты крепления при эксплуатационном осмотре и ремонте.

4. Проектирование элементов управления и индикации аппаратуры. При этом следует руководствоваться требованиями эргономики и технической эстетики.

5. Проектирование конструктивных элементов защиты блока РЭС от механических воздействий. Методика выбора и расчета системы амортизации приведена в [20, 24]. На этом этапе выбирают схему размещения амортизаторов и их число; типы амортизаторов; способы повышения жесткости элементов конструкции; способы контроля крепежных изделий.

6. Выбор конструктивных элементов электрического монтажа. На этом этапе выбирают: способ обеспечения электрических соединений (пайка, сварка, накрутка и т. д.); марку материала, сечение жилы, вид изоляции монтажных проводов; припой и флюс; способ крепления жгутов, кабелей и проводов к несущим конструкциям блока; тип электрических соединителей; способ крепления навесных ЭРИ на панели и другие элементы несущей конструкции.

7. Проектирование элементов заземления и экранов. На этом этапе определяют конструкцию элементов, лепестков заземления; способ осуществления контактных соединений в цепях заземления; конструкцию и материал экранов. Вопросы конструирования элементов заземления и экранов рассмотрены в [4, 19].

8. Выбор конструктивных элементов СО [6, 16, 23]. Здесь осуществляется выбор конструкции тепловых экранов, типов радиаторов; конструкции воздухопроводов, теплообменников, фильтров; формы и расположения вентиляционных отверстий.

В подтверждение правильного выбора элементов СО проводится расчет теплового режима всего блока, например по методике, изложенной в п. 3.4.

9. Выбор защитных и защитно-декоративных покрытий.

Для каждой детали выбирают конкретный вид покрытия. В качестве наиболее распространенных материалов покрытий для стали используют кадмий, цинк, хром, олово, никель; для сплавов меди — хром, никель, олово, серебро, золото. Из неметаллических химических способов покрытия широкое распространение получили анодирование, оксидирование и фосфатирование. Образующая на поверхности металлов защитная пленка химически пассивна, устойчива, имеет хороший декоративный вид, толщина покрытий — от 1 до 15 мкм. Используются также лакокрасочные покрытия.

Вид и толщину покрытий выбирают в зависимости от назначения, а также условий эксплуатации.

10. Выбор способов маркировки деталей и сборочных единиц. Должны быть определены способы маркировки ПП, проводов, кабелей, ячеек, КФУ, блоков и т. д.

11. Оценка технологичности конструкции в целом. С этой целью определяют коэффициенты унификации и технологичности. Методика расчета коэффициента технологичности приведена в п. 3.5.

### 3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ

#### 3.1. РАСЧЕТ ОБЪЕМНО-КОМПОНОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Масса и объем конструкции узла (модуля) блока РЭС определяются следующим образом:

$$m_{\Sigma} = m_N + m_M + m_H,$$

$$V_{\Sigma} = V_N + V_M + V_H + V_B,$$

где  $m_N$  ( $V_N$ ),  $m_M$  ( $V_M$ ),  $m_H$  ( $V_H$ ) — соответственно массы (объемы) схемных компонентов, монтажа, несущих конструкций;  $V_B$  — объем воздушных промежутков в блоке.

Удельная масса конструкции

$$m' = \frac{m_{\Sigma}}{V_{\Sigma}} = m'_N \frac{V_N}{V_{\Sigma}} + m'_M \frac{V_M}{V_{\Sigma}} + m'_H \frac{V_H}{V_{\Sigma}};$$

где  $m'_N$ ,  $m'_M$ ,  $m'_H$  — удельные массы соответственно схемных элементов, монтажа, несущих конструкций.

На ранних стадиях конструирования (техническое предложение, эскизный проект), когда возникает необходимость оценки качества конструкторской проработки будущего изделия, особенности конструктивного решения которого еще не определены, используют следующие компоновочные параметры:

коэффициент заполнения по объему

$$\kappa_V = \frac{\sum_{i=1} V_{\text{ЭИ}}}{V}; \quad (3.1)$$

коэффициент объемной массы

$$\kappa_G = M/V; \quad (3.2)$$

удельный объем ЭРИ

$$V_{\text{Э}} = V/N; \quad (3.3)$$

плотность монтажа

$$n_V = N/T; \quad (3.4)$$

удельная плотность тепловых источников

$$q_V = Q/V; \quad (3.5)$$

коэффициент удельной материалоемкости конструкции

$$q_P = M/P. \quad (3.6)$$

В формулах (3.1) — (3.6) обозначены:

$V_{\text{ЭИ}}$  — объем одного ЭРИ,  $\text{дм}^3$ ;

$V$  — объем конструкции изделия,  $\text{дм}^3$ ;

$M$  — масса всего изделия,  $\text{кг}$ ;

$N$  — число навесных ЭРИ во всем изделии;

$Q$  — потребляемая мощность изделия,  $\text{Вт}$ ;

$P$  — основной параметр по функциональному назначению изделия.

При использовании, например, компоновочного параметра  $\kappa_V$  определяют вначале требуемый объем изделия по формуле

$$V = \frac{\sum_{i=1} V_{\text{ЭИ}}}{\kappa_V}; \quad (3.7)$$

Затем, выбирая характерный размер блока  $L$  из типоразмерного ряда для корпусов РЭС данного класса (например, размер по высоте лицевой панели), рассчитывают площадь сечения, перпендикулярного к выбранному  $S = V/L$ . После этого выбирают остальные два размера блока — ширину и глубину — по стандарту, которым пользовались при выборе  $L$ . Значения коэффициента  $\kappa_V$  для РЭС некоторых типов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Значения коэффициента  $\mu_V$ 

Функциональное назначение изделия	Виды изделия					
	Стационарное		Возимое		Бортовое	
	Поколение элементной базы					
лия	третье	четвер- тое	третье	четвер- тое	третье	четвер- тое
Приемоусилитель- ное	0,3...0,5	0,7...0,8	0,5...0,6	0,8...0,9	0,6...0,8	0,85...0,9
Цифровая обра- ботка сигналов	0,4...0,6	0,6...0,75	0,65...0,75	0,75...0,9	0,75...0,90	0,90...0,95

Уровень миниатюризации РЭС целесообразно оценивать коэффициентом

$$\mu_V = \frac{V_a - V_m}{V_a}, \quad 0 \leq \mu_V < 1,$$

где  $V_a$  — объем аналога в обычном исполнении;

$V_m$  — объем устройства, подвергнутого миниатюризации,

$$\mu'_V = \frac{V_a - V_m}{V_a} \cdot 100 \%, \quad 0 \leq \mu'_V < 100 \%.$$

В некоторых случаях удобно пользоваться коэффициентами

$$\mu_G = \frac{G_a - G_m}{G_a}, \quad 0 \leq \mu_G < 1,$$

где  $G_m$  — масса устройства, подвергнутого миниатюризации;

$G_a$  — масса аналога — в обычном исполнении или в процентах:

$$\mu'_G = \frac{G_a - G_m}{G_a} \cdot 100 \%, \quad 0 \leq \mu'_G < 100 \%.$$

### 3.2. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

Расчет надежности заключается в определении нормы надежности на разрабатываемое устройство (если оно является частью более сложного изделия, для которого заданы показатели надежности) или оценке возможности выполнения показателей надежности, определенных исходными данными. Обычно в исходных данных на проектирование требования к надежности задаются в виде наработки на отказ  $T_0$  (для восстанавливаемой РЭС) или вероятности безотказной работы  $P(t)$  всего изделия (системы) при наличии резервирования или невозстановливаемой РЭС. Для расчета надежности необходимо иметь

логическую модель безотказной работы системы. При ее составлении предполагается, что отказы элементов независимы: а элементы и система могут находиться в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном. Элемент, при отказе которого происходит отказ всей системы, считается последовательно соединенным на логической схеме надежности. Элемент, отказ которого не приводит к отказу системы, считается включенным параллельно.

Расчет надежности рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. Определение схемы надежности (последовательная, параллельная, замещения). Выбор математической модели (закона) надежности (экспоненциальный, Вейбула, Пуассона и др.).

При курсовом проектировании чаще всего используют схему надежности, состоящую из последовательно соединенных невосстанавливаемых элементов, и математическую модель надежности, имеющую экспоненциальное распределение. В табл. 3.2 приведены [9, 24] основные показатели надежности для системы из последовательно соединенных невосстанавливаемых элементов, когда каждый из элементов имеет экспоненциальный закон распределения времени работы до отказа, т. е.  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ .

Таблица 3.2

Система последовательно соединенных невосстанавливаемых элементов

Показатель	Точное значение	Приближенное значение	Погрешность
$P(t_0)$	$\prod_{i=1}^m e^{-\lambda_i t_0} = e^{-t_0 \sum_{i=1}^m \lambda_i} = e^{-\Lambda t_0}$	$1 - \Lambda t_0$	$\delta + < \frac{(\Lambda t_0)^2}{2}$
$Q(t_0)$	$1 - e^{-\Lambda t_0}$	$\Lambda t_0$	$\delta - < \frac{(\Lambda t_0)^2}{2}$
$P(t, t + t_0)$	$e^{-\Lambda t_0}$	$1 - \Lambda t_0$	$\delta + < \frac{(\Lambda t_0)^2}{2}$
$Q(t, t + t_0)$	$1 - e^{-\Lambda t_0}$	$\Lambda t_0$	$\delta - < \frac{(\Lambda t_0)^2}{2}$
$T$	$1/\Lambda$	—	—

Приближенные выражения для показателей надежности даны при условии, что  $\Lambda t_0 = t_0 \sum_{i=1}^m \lambda_i \ll 1$ .



2. Определяются интенсивности отказов элементов с учетом условий эксплуатации изделия:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4 a_i (T, \kappa_n),$$

где  $\lambda_{0i}$  — номинальная интенсивность отказов;

$\kappa_1 \kappa_2$  — поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия механических факторов;

$\kappa_3$  — поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры;

$\kappa_4$  — поправочный коэффициент в зависимости от давления воздуха;

$a_i (T, \kappa_n)$  — поправочный коэффициент в зависимости от температуры поверхности элемента  $T$  и коэффициента нагрузки  $\kappa_n$ .

Значения номинальных интенсивностей отказов некоторых элементов даны в табл. 3.3. В табл. 3.4 — 3.6 приведены поправочные коэффициенты  $\kappa_1 \dots \kappa_4$ .

Коэффициенты электрической нагрузки  $\kappa_n$  определяются, в зависимости от типа ЭРИ, по формулам, приведенным в табл. 3.7.

Графики определения поправочных коэффициентов для различных ЭРИ приведены на рис. 3.1 — 3.5. Результаты расчетов удобно представить в виде табл. 3.8.

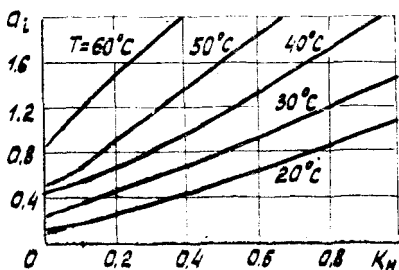


Рис. 3.1. Зависимость  $a_i (T, \kappa_n)$  для транзисторов

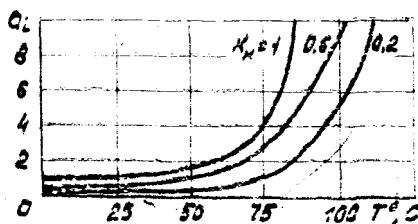


Рис. 3.2. Зависимость  $a_i (T, \kappa_n)$  для полупроводниковых диодов

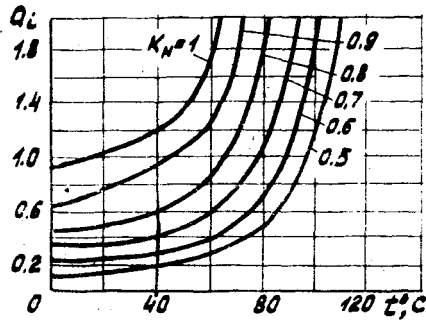


Рис. 3.3. Зависимость  $a_i$  ( $T$ ,  $\kappa_n$ ) для конденсаторов

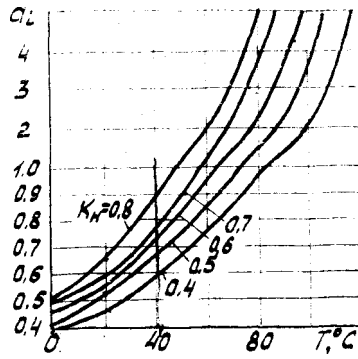


Рис. 3.4. Зависимость  $a_i$  ( $T$ ,  $\kappa_n$ ) для резисторов

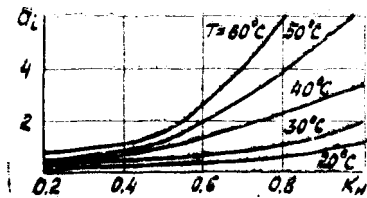


Рис. 3.5. Зависимость  $a_i$  ( $T$ ,  $\kappa_n$ ) для трансформаторов

Таблица 3.3

## Интенсивности отказов ЭРИ

Наименование элемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/ч	Наименование элемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/ч
Микросхемы ИС1, ИС3	0,015	Дроссели	0,34
Микросхемы ИС3, ИС4	0,01	Катушки индуктивности	0,02
Транзисторы германиевые:		Обмотки электродвигателя	0,08
до 2 мВт	0,4	Реле	0,25 <i>n</i>
до 20 мВт	0,7	Соединители	0,062 <i>n</i>
до 200 мВт	0,6	Переключатели кнопочные	0,07 <i>n</i>
свыше 200 мВт	1,91	Гнезда	0,01
Транзисторы кремниевые:		Клеммы, зажимы	0,0005
до 150 мВт	0,84	Провода соединительные	0,015
до 1 Вт	0,5	<b>Кабели</b>	0,475
до 4 Вт	0,74	Изоляторы	0,05
Диоды германиевые	0,157	Аккумуляторы	7,2
— кремниевые	0,2	Батарей заряжаемые	1,4
Конденсаторы бумажные	0,05	Электродвигатели асинхронные	8,6
— керамические	0,15	Электродвигатели синхронные	0,359
— слюдяные	0,075	— вентиляторные	2,25
— стеклянные	0,06	Антенны	0,36
— электролитические	0,035	Волноводы жесткие	1,1
— воздушные переменные	0,034	— гибкие	2,6
Резисторы композиционные	0,043	Предохранители	0,5
— пленочные	0,03	Выводы высокочастотные	2,63
— проволочные	0,087	✓ Плата печатной схемы	0,7
— угольные	0,045	✓ Пайка печатного монтажа	0,01
Трансформаторы входные	1,09	— навесного монтажа	0,03
— выходные	0,09	— объемного монтажа	0,02
— звуковой частоты	0,02	Микрофоны динамические	20
— высокочастотные	0,045	Громкоговорители динамические	4
Трансформаторы силовые	0,025	Датчики оптические	4,7
Автотрансформаторы	0,06		

Примечание: *n* — число контактов.

Таблица 3.4

## Коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации РЭС	Вибрация $k_1$	Ударные нагрузки $k_2$	Суммарные воздействия $k_{\Sigma}$
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица 3.5  
Коэффициент влияния влажности

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент $K_3$
60...70	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

Таблица 3.6

Коэффициент влияния атмосферного давления

Давление, $p$ , кПа	Поправочный коэффициент $K_4$	Давление, $p$ , кПа	Поправочный коэффициент $K_4$
0,1... 1,3	1,45	32,0...42,0	1,20
1,3... 2,4	1,40	42,0...50,0	1,16
4,4... 4,4	1,36	50,0...65,0	1,14
4,4...12,0	1,35	65,0...80,0	1,10
12,0...24,0	1,30	80,0...100,0	1,00
24,0...32,0	1,25		

Таблица 3.7

Коэффициенты нагрузки ЭРИ

Наименование элемента	Контролируемые параметры	Коэффициент нагрузки $K_1$	Рекомендуемые значения в режиме	
			импульсный	статистический
Микросхемы	Максимальный выходной ток $I_{вых\ max}$ . Входной ток микросхем, включенный на выходе, $I_{вх\ i}$ . Число нагруженных входов, $n$	$\frac{n}{\sum_{i=1}^n I_{вх\ i}}$ $I_{вх\ max}$	—	—
Транзисторы	Мощность, рассеиваемая на коллекторе, $P_k$	$P_k/P_{k\ доп}$	0,7	0,5
Полупроводниковые диоды	Обратное напряжение, $U_0$	$U_0/U_{0\ доп}$	0,7	0,5
Конденсаторы	Напряжение на обкладках, $U$	$U/U_{доп}$	0,8	0,6
Резисторы	Рассеиваемая мощность, $P$	$P/P_{доп}$	0,8	0,7
Трансформаторы	Ток нагрузки, $I_n$	$I_n/I_{n\ доп}$	0,9	0,7
Электрические соединители	Ток $I_k$	$I_k/I_{k\ доп}$	0,8	0,6

Таблица 3.8

Наименование и тип элемента	Обозначение по схеме	$n_i$	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}, 1/ч$	$\kappa_{if}$	$T_i, ^\circ C$	$a_i$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}, 1/ч$	$n_i \cdot \lambda_i \cdot 10^{-6}, 1/ч$	$P_i$	$\tau_i, ч$	$P_i \tau_i, ч$
Резисторы МЛТ-0.25	$R_1 \dots R_5$	5	0,03	0,7	60	0,6	0,18	0,8	0,02	0,78	0,017

$$\kappa_1 = \quad ; \kappa_2 = \quad , \kappa_3 = \quad ; \kappa_4 = \quad ; \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i =$$

3. Рассчитывается вероятность безотказной работы в течение заданной наработки  $(0, t_p)$ :

$$P(t_p) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_p\right),$$

где  $n$  — число элементов.

При этом интенсивность отказов системы  $\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ , а среднее время наработки до отказа  $T = 1/\Lambda$ . Среднее время восстановления находится по формуле  $T_B = \sum_{i=1}^m P_i \tau_i$ , где  $\tau_i$  — среднее время восстановления одного элемента  $i$ -го типа (табл. 3.9);  $P_i$  — вероятность того, что возникшая неисправность относится к элементам  $i$ -го типа,

$$P_i = \frac{n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^m n_i \lambda_i} ; \sum_{i=1}^m P_i = 1.$$

Таблица 3.9

Значения среднего времени восстановления ЭРИ

Тип ЭРИ	$\tau_i$
Полупроводниковые диоды	0,6
Полупроводниковые триоды мало- мощные	0,6
Резисторы	0,78
Потенциометры	0,8
Конденсаторы	1,1
Трансформаторы импульсные	1,2

4. Для ремонтируемых РЭС определяется коэффициент готовности, равный вероятности нахождения системы в состоянии работоспособности при длительной эксплуатации для нерезервированной системы:  $k_r = \frac{\tau}{\tau + \lambda}$ , где  $\tau$  — интенсивность восстановления.

Примеры расчета надежности приведены в литературе [9, 13, 24].

### 3.3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Расчет элементов печатного монтажа проводят в три этапа: по постоянному и переменному току и конструктивно-технологический.

Расчет по постоянному току. Электрические свойства ПП по постоянному току оцениваются нагрузочной способностью проводников по току, сопротивлением изоляции и диэлектрической прочностью основания платы.

Расчет по постоянному току печатных проводников сигнальных цепей не нужен, т. к. минимальная ширина проводника определяется технологическими возможностями производства. Однако необходимость в расчетах возникает при определении ширины проводников цепей питания и земли. Минимальная ширина проводника (в миллиметрах) рассчитывается по допустимому падению напряжения на нем:

$$t_{\min} = \rho l / h_{\phi} U_{\text{доп}} \cdot I_{\max},$$

где  $\rho$  — удельное объемное сопротивление (табл. 3.10), Ом · мм<sup>2</sup>/м;

$l$  — длина проводника, м;

$h_{\phi}$  — толщина проводника (фольги), мм;

$I_{\max}$  — максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках (определяется из анализа электрической схемы), А;

$U_{\text{доп}}$  — допустимое падение напряжения, определяется из анализа электрической схемы.

Для электронных логических схем допустимое падение напряжения на цепях питания и земли не должно превышать 1—2 % номинального значения подводимого напряжения  $E$ . Требуемое сечение печатных проводников шин «Питание» и «Земля»

$$S_{\text{пз}} \geq \rho I_{\max} \cdot l / (0.01 - 0.02) E,$$

где  $S_{\text{пз}} = h_{\phi} \cdot t$  — сечение печатного проводника шины «Питание» и «Земля».

Таблица 3.10

Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

Метод изготовления	Толщина фольги, $h_{\text{ф}}$ , мкм	Допустимая плотность тока $i_{\text{доп}}$ , А/мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление, Ом · мм <sup>2</sup> /м
Химический: внутренние слои МПП наружные слои ОПП, ДПП	20, 35, 50	15	0,050
	20, 35, 50	20	
Комбинированный позитивный	20	75	0,0175
	35	48	
	50	38	
Электрохимический	—	25	0,050

Количество контактов  $n_{\text{к}}$  соединителя косвенного сочленения, осуществляющих подвод напряжения «Питание» и «Земля» [27]:  $n_{\text{к}} = S_{\text{пз}} / (\pi d_{\text{в}} h_{\text{ф}})$ , где  $d_{\text{в}}$  — диаметр выводов.

Количество контактов соединителя прямого сочленения  $n_{\text{п}} = S_{\text{пз}} / S_{\text{кп}}$ , где  $S_{\text{кп}}$  — площадь контактирования контактной пары соединителя.

Сопротивление изоляции  $R_{\text{и}}$  параллельных проводников приближенно вычисляется как  $R_{\text{и}} \cong \frac{R_{\text{s}} R_{\text{v}}}{R_{\text{s}} + R_{\text{v}}}$ , где  $R_{\text{s}}$  — поверхностное сопротивление изоляции,  $R_{\text{s}} = \rho_{\text{s}} \cdot S_{\text{min}} / l$ ;  $S_{\text{min}}$  — зазор между проводниками;  $l$  — наибольшая длина совместного прохождения проводников;  $R_{\text{v}}$  — объемное сопротивление изоляции,  $R_{\text{v}} = \rho_{\text{v}} h_{\text{пп}} / S_{\text{п}}$ , где  $h_{\text{пп}}$  — толщина печатной платы;  $S_{\text{п}}$  — минимальная площадь проекции печатных проводников друг на друга.

Для нормальной работы ФУ (ТЭЗ) сопротивление изоляции между разобращенными цепями в условиях наивысшей влажности должно подчиняться неравенству  $R_{\text{и}} \geq 10^3 R_{\text{вх}}$ , где  $R_{\text{вх}}$  — входное сопротивление коммутируемых схем.

Для обеспечения этого неравенства необходимо в первую очередь увеличить  $\rho_{\text{s}}$  и  $\rho_{\text{v}}$ .

Расчет по переменному току. Расчет по переменному току позволяет уточнить максимальную длину одиночного проводника, максимальную длину совместного прохождения рядом расположенных проводников, зазоры между проводниками.

Падение импульсного напряжения  $U_{\text{л}}$  (В/см) на длине проводника в 1 см приближенно вычисляется по формуле

$$U_L \approx L_{\text{по}} \Delta I / t_n,$$

где  $L_{\text{по}}$  — погонная индуктивность одиночного проводника, нГн/см;

$\Delta I$  — изменение выходного тока переключения логического элемента, А;

$t_n$  — длительность импульсного сигнала, нс.

Погонная индуктивность одиночного проводника, расположенного на расстоянии  $h_{\text{пз}}$  над поверхностью Земли (нГн/м)

$$L_{\text{по}} = 4,6 \lg \{4 h_{\text{пз}} / (0,56 > t + 0,6 > h_{\text{ф}})\}.$$

При передаче по линиям связи сигналов будет наблюдаться их задержка  $t_3 = \sqrt{LC} = \tau_0 \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ , где  $L$ ,  $C$  — индуктивность и емкость линии;  $\tau_0$  — погонная задержка при передаче сигнала по проводнику в вакууме;  $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$  — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости основания платы.

Конструктивно-технологический расчет ПП проводится с учетом производственных погрешностей рисунка проводящих элементов, базирования, сверления и т. д. по ОСТ 4.010.019—81 и ГОСТ 23751—86 следующим образом.

1. Исходя из технологических возможностей производства выбираем метод изготовления и класс точности ПП (ОСТ 4.010.022—85).

2. Определяем минимальную ширину (в миллиметрах) печатного проводника по постоянному току для цепей питания и заземления:

$$t_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \rho_{\text{ф}}},$$

где  $j_{\text{доп}}$  — допустимая плотность тока, выбирается в зависимости от метода изготовления из табл. 3.10.

3. Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий  $d$ :

$$d = d_s + r + |\Delta d_{\text{но}}|,$$

где  $d_s$  — максимальное значение диаметра вывода, устанавливаемого ЭРИ;

$r$  — разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода ЭРИ;  $r = 0,1 \dots 0,4$  мм;

$\Delta d_{\text{но}}$  — нижнее предельное отклонение от номинального значения диаметра отверстия (табл. 3.11).

Рассчитанные значения  $d$  сводят к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.



Таблица 3.11

Допуски на расположение отверстий  
и контактных площадок

Параметры	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
Минимальное значение номинальной ширины проводника, $t$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Расстояние между проводниками, $S$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Отношение диаметра отверстия к толщине платы, $\gamma$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
Ширина пояска металлизации вокруг отверстия, $d$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
Допуск на отверстие $\Delta d$ , мм $\varnothing < 1$ мм:					/
без металлизации	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
с металлизацией	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	0	0	0
без оплавления	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,075
с металлизацией и оплавлением	-0,18	-0,18	-0,13	-0,13	-0,13
Допуск на отверстие $\Delta d$ , мм $\varnothing > 1$ мм:					
без металлизации	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
с металлизацией	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
без оплавления	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15
с металлизацией и оплавлением	-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18
Допуск на ширину проводника $\Delta t$ , мм:					
без покрытия	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0
с покрытием	+0,25 -0,20	+0,15 -0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
Допуск на расположение отверстий $\delta d$ , мм, при размере ПП по большой стороне:					
менее 180 мм	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
от 180 до 360 мм	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
более 360 мм	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10
Допуск на расположение контактных площадок $\delta p$ , мм на ОПП и ДПП при размере ПП:					
менее 180 мм	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
от 180 до 360 мм	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
более 360 мм	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15

Параметры	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
Допуск на расположение контактных площадок $\delta p$ , мм, на МПП при размере ПП:					
менее 180 мм	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
от 180 до 360 мм	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
более 360 мм	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки $B_m$ , м	0,06	0,045	0,035	0,025	0,015
Допуск на расположение проводников на ОПП, ДПП $\delta l$ , мм	0,2	0,10	0,05	0,03	0,02
То же на МПП $\delta l$ , мм	0,3	0,15	0,10	0,08	0,05

4. Рассчитываем диаметр контактных площадок. Минимальный диаметр контактных площадок для ОПП и внутренних слоев МПП, изготовленных *химическим методом* [16]:

$$D_{\min} = D_{i\min} + 1,5h_{\phi},$$

где  $D_{i\min}$  — минимальный эффективный диаметр площадки,

$$D_{i\min} = 2(b_m + d_{\max}/2 + \delta d + \delta p),$$

где  $b_m$  — расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки;

$\delta d, \delta p$  — допуски на расположение отверстий и контактных площадок (см. табл. 3.11);

$d_{\max}$  — максимальный диаметр просверленного отверстия, мм,

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,5),$$

где  $\Delta d$  — допуск на отверстие (см. табл. 3.11).

Минимальный диаметр контактных площадок для ДПП и наружных слоев МПП, изготовленных *комбинированным позиционным методом*:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{i\min} + 1,5h_{\phi} + 0,03,$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{i\min} + 1,5h_{\phi} + 0,08.$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготовленных *электрохимическим методом*:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,03,$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,08.$$

Максимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06).$$

5. Определяем ширину проводников. Минимальная ширина проводников для ОПП и внутренних слоев МПП, изготовленных химическим методом:

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5 h_{\phi},$$

где  $t_{1\min}$  — минимальная эффективная ширина проводника,  $t_{1\min} = 0,18$  мм для плат 1, 2 и 3-го класса точности,  $t_{1\min} = 0,15$  мм для плат 4 и 5-го класса точности.

Минимальная ширина проводников для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых комбинированным позитивным методом:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5 h_{\phi} + 0,03,$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5 h_{\phi} + 0,08.$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$t_{\min} = t_{1\min} + 0,03,$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$t_{\min} = t_{1\min} + 0,08.$$

Максимальная ширина проводников

$$t_{\max} = t_{\min} + (0,02 \dots 0,06).$$

6. Определяем минимальные расстояния между элементами проводящего рисунка. Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$S_{1\min} = L_0 - [(D_{\max}/2 + \delta p) + (t_{\max}/2 + \delta l)],$$

где  $L_0$  — расстояние между центрами рассматриваемых элементов;

$\delta l$  — допуск на расположение проводников (см. табл. 3.11).

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

$$S_{2\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta\rho).$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$S_{3\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta l).$$

### 3.4. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

При расчете теплового режима блоков РЭС используют приближенные методы анализа и расчета, так как точное аналитическое описание температурных полей внутри блока невозможно из-за громоздкости задачи и неточности исходных данных, таких как мощность источников теплоты, теплофизические свойства материалов, размеры границ. Целью расчета является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности ЭРИ. Большая часть РЭС имеет блоки разъемной, кассетной или книжной конструкции с плотной компоновкой. Рассмотрим расчет теплового режима РЭС кассетной конструкции с плотной упаковкой при естественном конвективном теплообмене.

Конструкция РЭС заменяется ее физической тепловой моделью, в которой нагретая зона представляется в виде параллелепипеда, имеющего среднюю поверхность температуру и рассеиваемую тепловую мощность (рис. 3.6).

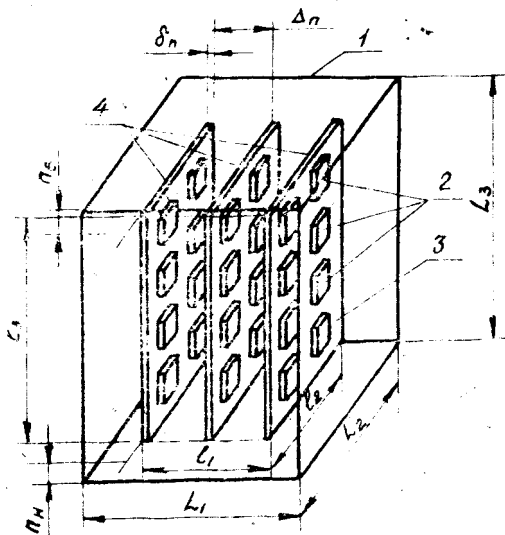


Рис. 3.6. Тепловая модель блока РЭС плотной компоновки: 1—корпус, 2—ЭРИ, 3—нагретая зона, 4—ячейка

В расчете теплового режима условно можно выделить три этапа:

- определение температуры корпуса  $t_k$ ;
- »— среднеповерхностной температуры нагретой зоны  $t_{нз}$ ;
- »— температуры поверхности ЭРИ.

Для выполнения расчета теплового режима необходимы следующие исходные данные: размеры корпуса — ширина  $L_1$ , глубина  $L_2$ , высота  $L_3$ ; размеры нагретой зоны  $l_1 \times l_2 \times l_3$ ; величины воздушных зазоров между нагретой зоной и нижней поверхностью корпуса  $h_n$ , нагретой зоной и верхней поверхностью корпуса  $h_b$ ; площадь перфорационных отверстий  $S_n$ ; мощность, рассеиваемая блоком в виде теплоты  $P_0$ ; мощность ЭРИ, расположенных непосредственно на корпусе  $P_k$ ; базовая температура  $t_0$ , т. е. температура окружающей среды; теплофизические параметры воздуха и материалов конструкции блока.

*Этап 1.* Определение температуры корпуса.

1. Рассчитываем удельную поверхностную мощность корпуса блока  $q_k$ :  $q_k = P_0/S_k$ , где  $S_k$ —площадь внешней поверхности корпуса блока,

$$S_k = 2(L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3).$$

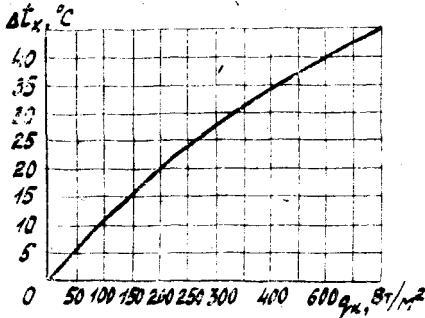


Рис. 3.7. Зависимость перегрева корпуса блока от удельной поверхности мощности

2. По графику (рис.3.7) задаемся перегревом корпуса блока в первом приближении  $\Delta t_k$ .

3. Определяем коэффициент лучеиспусканий для верхней границы  $\alpha_{лв}$ , боковой  $\alpha_{лб}$  поверхностей корпуса:

$$\alpha_{li} = \epsilon_i \cdot 5,67 \times \left[ \left( \frac{t_0 + \Delta t_k + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right] / \Delta t_k,$$

где  $\epsilon_i$  — степень черноты  $i$ -й наружной поверхности корпуса (определяется в зависимости от материала из табл. 3.12).

4. Рассчитываем число Грасгофа  $Gr$  для каждой поверхности корпуса: при определяющей температуре  $t_m = t_0 + 0,5 \Delta t_k$

$$Gr_{mi} = \beta_m g \frac{L_{опр i}^3}{\gamma_m^2} \Delta t_k, \quad (3.8)$$

где  $L_{опр i}$  — определяющий размер  $i$ -й поверхности корпуса;

Таблица 3.12

## Степень черноты различных поверхностей

Материал	$\epsilon$	Материал	$\epsilon$
Алюминий полированный	0,05	Муар	0,9
Алюминий окисленный	0,25	Масляные краски	0,92
Алюминий грубополированный	0,18	Никель полированный	0,08
Алюминиевая фольга	0,09	Олово (луженое кровельное железо)	0,08
Асбестовый картон	0,96	Платина	0,1
Бронза полированная	0,16	Резина твердая	0,95
Бумага	0,92	Резина мягкая	0,86
Вольфрам	0,05	Серебро полированное	0,05
Графит	0,75	Сталь никелированная	0,11
Дюралюминий (Д16)	0,39	Сталь окисленная	0,8
Железо полированное	0,26	Стальное литье	0,54
Золото	0,10	Сажа	0,96
Ковар	0,82	Стекло	0,92
Краски эмалевые	0,92	Силумин	0,25
Лак	0,88	Титан	0,63
Латунь полированная	0,03	Фарфор	0,92
Латунь прокатная	0,20	Хром полированный	0,10
Медь полированная	0,02	Цинк	0,25
Медь окисленная	0,65	Щеллак черный матовый	0,91

Таблица 3.13

Теплофизические параметры сухого воздуха при давлении  $101,3 \cdot 10^5$  Па

$t_m, ^\circ\text{C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\gamma_m \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\text{Pr}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	$\gamma_m \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\text{Pr}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
-50	2,04	9,23	0,728	1,584	50	2,83	17,95	0,698	1,093
-20	2,28	12,79	0,716	1,39	60	2,90	18,97	0,696	1,09
0	2,44	13,28	0,707	1,295	70	2,97	20,02	0,694	1,029
10	2,51	14,16	0,705	1,247	80	3,05	21,09	0,692	1,00
20	2,60	15,06	0,703	1,205	90	3,13	22,10	0,690	0,972
30	2,68	16,00	0,701	1,165	100	3,21	23,13	0,688	0,946
40	2,76	16,96	0,699	1,128	120	3,34	25,45	0,686	0,898

$\beta_m$  — коэффициент объемного расширения, для газов  $\beta_m = (t_m + 273)^{-1}$ ;

$g$  — ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ ;

$\gamma_m$  — кинетическая вязкость газа, для воздуха определяется из табл. 3.13. Индекс  $m$  означает, что все параметры соответствуют определяющей температуре  $t_m$ .

5. Определяем число Прандтля  $Pr$  из табл. 3.13 для определяющей температуры  $t_m$ .

6. Находим режим движения газа или жидкости, обтекающих каждую поверхность корпуса:

$(GrPr)_m \leq 5 \cdot 10^2$  — режим, переходный к ламинарному;

$5 \cdot 10^2 < (GrPr)_m \leq 2 \cdot 10^7$  — ламинарный режим;

$(GrPr)_m > 2 \cdot 10^7$  — турбулентный режим.

7. Рассчитываем коэффициенты теплообмена конвекцией для каждой поверхности корпуса блока  $\alpha_{ki}$ :

для переходного режима

$$\alpha_{ki} = 1,18 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (GrPr)_m^{1/8} N_i;$$

для ламинарного режима

$$\alpha_{ki} = 0,54 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (GrPr)_m^{1/4} N_i;$$

для турбулентного режима

$$\alpha_{ki} = 0,135 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (GrPr)_m^{1/3} N_i,$$

где  $\lambda_m$  — теплопроводность газа, для воздуха значения приведены в табл. 3.13;

$N_i$  — коэффициент, учитывающий ориентацию поверхности корпуса:

$$N_i = \begin{cases} 0,7 & \text{— для нижней поверхности,} \\ 1 & \text{— для боковой поверхности,} \\ 1,3 & \text{— для верхней поверхности.} \end{cases}$$

8. Определяем тепловую проводимость между поверхностью корпуса и окружающей средой  $\sigma_k$ :

$$\sigma_k = (\alpha_{кн} + \alpha_{лн}) S_n + (\alpha_{кб} + \alpha_{лб}) S_b + (\alpha_{кв} + \alpha_{лв}) S_v,$$

где  $S_n$ ,  $S_b$ ,  $S_v$  — площади нижней, боковой и верхней поверхностей корпуса соответственно;

$$S_n = S_v = L_1 L_2; \quad S_b = 2 L_3 (L_1 + L_2).$$

9. Рассчитываем перегрев корпуса блока РЭС во втором приближении  $\Delta t_{кo}$ :

$$\Delta t_{к о} = (P_o/\sigma_k) \kappa_{к п} \kappa_{н 1} ;$$

где  $\kappa_{к п}$  — коэффициент, зависящий от коэффициента перфорации корпуса блока  $\kappa_{п}$ ;

$\kappa_{н 1}$  — коэффициент, учитывающий атмосферное давление окружающей среды. Графики для определения коэффициентов  $\kappa_{к п}$  и  $\kappa_{н 1}$  представлены на рис. 3.8 и 3.9.

Коэффициент перфорации определяется как отношение площади перфорационных отверстий  $S_{п}$  к сумме площадей верхней и нижней поверхности корпуса:  $\kappa_{п} = S_{п}/(S_{н} + S_{в})$ .

10. Определяем ошибку расчета  $\delta = |\Delta t_{к о} - \Delta t_{к}| / \Delta t_{к о}$ . Если  $\delta \leq 0,1$ , то расчет можно считать законченным. В противном случае следует повторить расчет температуры корпуса для другого значения  $\Delta t_{к}$ , скорректированного в сторону  $\Delta t_{к о}$ .

11. Рассчитываем температуру корпуса блока:

$$t_{к} = t_o + \Delta t_{к о}.$$

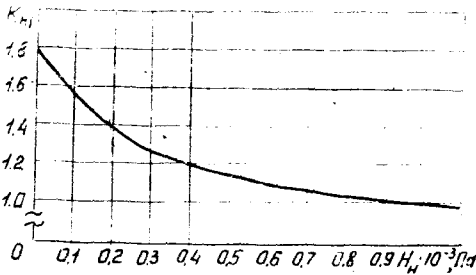


Рис. 3.9. Зависимость коэффициента  $\kappa_{н 1}$  от атмосферного давления окружающей среды

рассейваемая в элементах, установленных непосредственно на корпус блока; в этом случае последний играет роль радиатора.

2. Из графика (см. рис. 3.7) находим в первом приближении

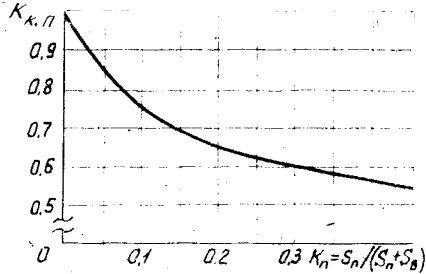


Рис. 3.8. Зависимость коэффициента  $\kappa_{к п}$  от коэффициента перфорации корпуса блока

**Этап 2.** Определение среднеповерхностной температуры нагретой зоны.

1. Вычисляем условную удельную поверхностную мощность нагретой зоны блока  $q_3$ :

$$q_3 = \frac{P_3}{1,82 (l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3)},$$

где  $P_3$  — мощность, рассеиваемая в нагретой зоне. В общем случае  $P_3 = P_o - P_k$ , где  $P_k$  — мощность, рассеиваемая в элементах, установленных непосредственно на корпус блока; в этом случае последний играет роль радиатора.

2. Из графика (см. рис. 3.7) находим в первом приближении



перегрев нагретой зоны относительно температуры, окружающей блок среды  $\Delta t_3$ :

3. Определяем коэффициент теплообмена излучением между нижними  $\alpha_{злн}$ , верхними  $\alpha_{злв}$  и боковыми  $\alpha_{злб}$  поверхностями нагретой зоны и корпуса:

$$\alpha_{злi} = \varepsilon_{ni} \cdot 5,67 \left[ \left( \frac{t_o + \Delta t_3 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_k + 273}{100} \right)^4 \right] / (\Delta t_3 - \Delta t_{кo}),$$

где  $\varepsilon_{ni}$  — приведенная степень черноты  $i$ -й поверхности нагретой зоны и корпуса,

$$\varepsilon_{ni} = \left[ \frac{1}{\varepsilon_{zi}} + \left( \frac{1}{\varepsilon_{ki}} - 1 \right) \frac{S_{zi}}{S_{ki}} \right]^{-1},$$

где  $\varepsilon_{zi}$  и  $S_{zi}$  — степень черноты и площадь  $i$ -й поверхности нагретой зоны.

4. Для определяющей температуры  $t_m = (t_k + t_o + \Delta t_3) / 2$  и определяющего размера  $h_i$  находим числа Грасгофа  $Grh_i$  и Прандтля  $Pr$  (формула (3.2) и табл. 3.13).

5. Рассчитываем коэффициенты конвективного теплообмена между нагретой зоной и корпусом для каждой поверхности: для нижней поверхности

$$\alpha_{зкн} = \lambda_m / h_n;$$

для верхней поверхности

$$\alpha_{зкв} = \begin{cases} \lambda_m / h_b & \text{при } (Grh_b Pr) \leq 10^3 \\ 0,234 [6,25 - 5,25 (1 + h_b / \sqrt{l_1 l_2})^{-5/3}] \lambda_m \times \\ \times (Grh_b Pr)^{1/4} / h_b & \text{при } (Grh_b Pr) > 10^3; \end{cases}$$

для боковой поверхности

$$\begin{aligned} & \lambda_m / h_6 \text{ при } (Grh_6 Pr) \leq 10^3 \\ & 0,18 [6,25 - 5,25 (1 + h_6 / \sqrt{2(l_1 + l_2)l_3})^{-5/3}] \lambda_m (Grh_6 Pr)^{1/4} / h_6, \\ & \text{при } (Grh_6 Pr) > 10^3. \end{aligned}$$

6. Определяем тепловую проводимость между нагретой зоной и корпусом:

$$\alpha_{зк} = \kappa_\sigma \sum_{i=нвб} (\alpha_{злi} + \alpha_{зки}) S_{zi},$$

где  $\kappa_\sigma$  — коэффициент учитывающий кондуктивный теплообмен;

$$\kappa_\sigma = \begin{cases} 1,63 - \frac{0,157}{\sigma S_\lambda} & \text{при } \frac{1}{\sigma S_\lambda} \leq 4; \\ 1 & \text{при } \frac{1}{\sigma S_\lambda} > 4, \end{cases}$$

где  $\sigma$  — удельная тепловая проводимость от модулей к корпусу

блока, зависит от усилия прижима ячеек к корпусу (рис. 3.10) при отсутствии прижима  $\sigma = 240 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,

$S_\lambda$  — площадь контакта рамки модуля с корпусом блока.

7. Рассчитываем нагрев нагретой зоны  $\Delta t_{30}$  во втором приближении:

$$\Delta t_{30} = \Delta t_{k0} + \frac{P_3 \kappa_{кп} \kappa_{кв} \kappa_{н2}}{\sigma_{3к}}$$

где  $\kappa_{кв}$  — коэффициент, учитывающий внутреннее перемешивание воздуха, зависит от производительности вентилятора  $C_v$  (рис. 3.11.);

$\kappa_{н2}$  — коэффициент, учитывающий давление воздуха внутри блока (рис. 3.12).

8. Определяем ошибку расчета:  $\delta = |\Delta t_{30} - \Delta t_3| / \Delta t_{30}$ . Если  $\delta < 0,1$ , то расчет окончен. При  $\delta \geq 0,1$  следует повторить расчет для скорректированного значения  $\Delta t_3$ .

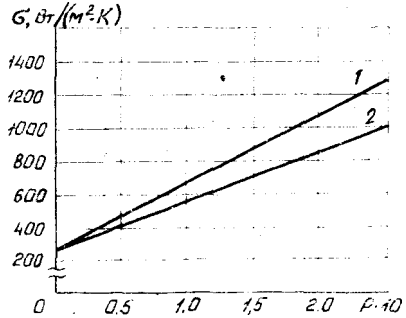


Рис. 3.10 Зависимость удельной тепловой проводимости от усилия прижима ячеек к корпусу: 1—контакт медной ячейки с алюминиевым корпусом, 2—контакт алюминий-алюминий

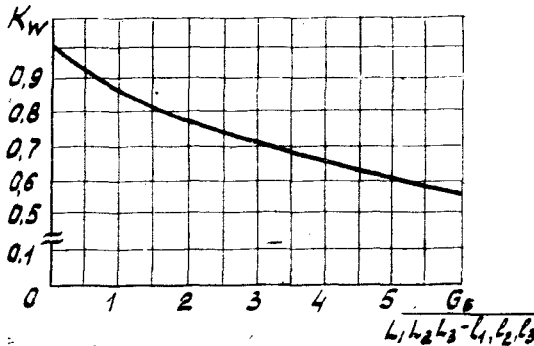


Рис. 3.11. Зависимость коэффициента  $\kappa_{кв}$  от кратности обмена воздуха в блоке

9. Рассчитываем температуру нагретой зоны:

$$t_3 = t_0 + \Delta t_{30}$$

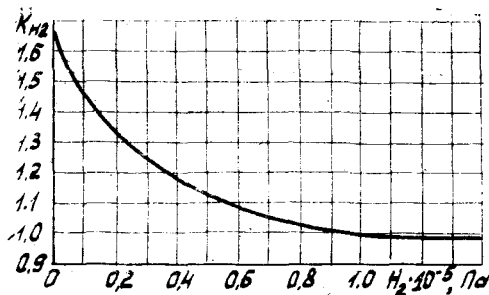


Рис. 3.12. Зависимость коэффициента  $\kappa_{w2}$  от давления воздуха внутри блока

Этап 3. Расчет температуры поверхности элемента.

1. Определяем эквивалентный коэффициент теплопроводности модуля, в котором расположена микросхема для вариантов:

при отсутствии теплопроводных шин:

$\lambda_{\text{экв}} = \lambda_{\text{п}}$ , где  $\lambda_{\text{п}}$  — теплопроводность материала основания платы;

при наличии теплопроводных шин

$$\lambda_{\text{экв}} = (1 - A) \lambda_{\text{п}} \left[ 1 - \frac{V_{\text{ш}}}{V_{\text{п}}} + \frac{1}{(V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}) (\lambda_{\text{ш}}/\lambda_{\text{п}}) + 1 - V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}} \right]^{-1} + A \frac{\lambda_{\text{п}}}{2} \left[ 1 + \frac{\lambda_{\text{ш}} V_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{п}} V_{\text{п}}} + \frac{1}{1 - V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}} \right],$$

$\lambda_{\text{ш}}$  — теплопроводность материала теплопроводной шины;

$V_{\text{п}}$  — объем ПП с учетом объема теплопроводных шин;

$V_{\text{ш}}$  — объем теплопроводных шин на ПП;

$A$  — поверхностный коэффициент заполнения платы модуля теплопроводными шинами,  $A = S_{\text{ш}}/S_{\text{п}}$ ;

$S_{\text{ш}}$  — суммарная площадь, занимаемая теплопроводными шинами на ПП.

В табл. 3.14 приведены теплофизические параметры некоторых материалов.

2. Определяем эквивалентный радиус корпуса микросхем:

$$R = \sqrt{S_{\text{осс}}/\pi},$$

где  $S_{\text{осс}}$  — площадь основания микросхемы.

3. Рассчитываем коэффициент распространения теплового потока:

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta_{\text{п}} \lambda_{\text{экв}}}},$$

Таблица 3.14

## Теплофизические свойства материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)
Алюминий	208	Полистирол	0,09...0,14
Бронза	64	Эбонит	0,163
Латунь	85,8	Стеклотекстолит	0,24...0,34
Медь	390	Стекло	0,74
Сталь	45,5	Фарфор	0,834
Асбестовая ткань	0,169	Картон	0,231
Асбест листовой	0,116	АЛ-9	151
Слюда	0,583	АЛ-2	175
Пластмасса полихлорвиниловая	0,443	АМЦ	188
Фторопласт-4	0,25	Пенопласт ПХВ-2	0,04
		Пенополиуретан ЭПЭ	0,06

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты теплообмена с 1-й и 2-й сторон ПП; для естественного теплообмена  $\alpha_1 + \alpha_2 = 17$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_n$  — толщина ПП модуля.

4. Определяем искомый перегрев поверхности корпуса микросхемы:

$$\Delta t_{ис} = \Delta t_B + \kappa \times$$

$$\times \left[ \frac{Q_{ис}}{\kappa_x (S_{ис} - S_{оис}) + \frac{1}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \frac{1}{B + M \pi R \lambda_{эКВ} \delta_n m \frac{\kappa_1(mR)}{\kappa_0(mR)}}}} \right] \times \sum_{i=1}^N$$

$$\times \frac{Q_{ис i} \frac{\kappa_0(mR_i)}{\kappa_0(mR_i)}}{\kappa_{2i} (S_{ис i} - S_{оис i}) \left\{ 1 + \left[ \frac{\delta_{3i}}{\lambda_{3i} \pi R_i^2} + \frac{1}{\kappa_{1i} (S_{ис i} - S_{оис i})} \right] \right\} \times$$

$$\times \left( \frac{1}{B_i + M \pi R_i \lambda_{эКВ} \delta_n m \frac{\kappa_1(mR)}{\kappa_0(mR)}} \right)$$

где  $B$  и  $M$  — условные величины, введенные для упрощения формы записи: при одностороннем расположении корпусов микросхем на ПП  $B = 8,5 \pi R^2$  Вт/К,  $M = 2$ ; при двустороннем расположении корпусов  $B = 0$ ,  $M = 1$ ;  $\kappa$  — эмпирический коэффициент: для корпусов микросхем, центр которых отстоит от торцов ПП на расстоянии менее  $3R$ ,  $\kappa = 1,14$ ;  $\kappa_x$  — коэффициент

теплоотдачи от корпусов микросхем, определяется по графику рис. 3.13;  $\kappa_1$  и  $\kappa_0$  — модифицированные функции Бесселя;  $N$  — число  $i$ -х корпусов микросхем, расположенных вокруг корпуса рассчитываемой микросхемы на расстоянии не более  $10/m$ , т. е.  $r_i \leq 10/m$ ;  $\Delta t_{\text{в}}$  — среднеобъемный перегрев воздуха в блоке,

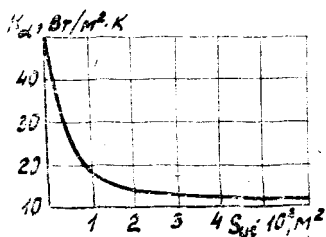


Рис. 3.13. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\kappa_k$  от площади поверхности корпуса микросхемы

$$\Delta t_{\text{в}} = (\Delta t_{\kappa_0} + \Delta t_{\text{нз}0})/2;$$

$Q_{\text{ис}i}$  — мощность, рассеиваемая  $i$ -й микросхемой;

$S_{\text{ис}i}$  — суммарная площадь поверхности  $i$ -й микросхемы;

$\delta_{zi}$  — зазор между микросхемой и ПП;

$\lambda_{zi}$  — коэффициент теплопроводности материала, заполняющего этот зазор.

5. Определяем температуру поверхности корпуса микросхемы:

$$t_{\text{ис}} = t_0 + \Delta t_{\text{ис}}.$$

Дискретные ЭРИ можно считать аналогично микросхеме локальным источником теплоты на пластине, и методика определения температуры поверхности его корпуса будет аналогична. Необходимо лишь ввести соответствующие значения геометрических параметров в соответствии с пп. 2—5.

### 3.5. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И УНИФИКАЦИИ

Основным показателем, используемым для оценки технологичности конструкции, является комплексный (интегральный), под которым понимается показатель технологичности, характеризующий несколько признаков конструкций [4, 13]. Комплексный показатель определяют на основе показателей по формуле

$$\kappa_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=g} \kappa_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^{i=g} \varphi_i} = \frac{\kappa_1 \varphi_1 + \kappa_2 \varphi_2 + \dots + \kappa_g \varphi_g}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_g},$$

где  $\kappa_i$  — показатель, определяемый по таблице базовых показателей соответствующего класса блоков (табл. 3.15);

$\varphi_i$  — функция, нормирующая весовую значимость показателя в зависимости от его порядкового номера в табл. 3.15;

$i$  — порядковый номер показателя в ранжированной последовательности (место в таблице);

$g$  — общее число относительных частных показателей в таблице для данной стадии разработки изделия.

Величину  $\varphi_i$  принимают для каждого показателя соответст-

вующей строки таблицы независимо от полноты состава определяемых показателей на различных стадиях разработки.

Коэффициент использования микросхем и микросборок

$$K_{исп\ сх} = N_{сх} / (N_{сх} + N_{эри}),$$

где  $N_{сх}$  — общее число микросхем и МСБ в изделии, шт.;

$N_{эри}$  — общее число ЭРИ, шт.

Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделия  $K_{ам} = N_{ам} / N_m$ , где  $N_{ам}$  — число монтажных соединений, которые могут осуществляться или осуществляются механизированным или автоматическим способом;  $N_m$  — общее число монтажных соединений.

Таблица 3.15

Состав базовых показателей

Порядковый номер в ранжированной последовательности	Показатель технологичности	$\Phi_i$	Эскизный проект	Технический проект	Рабочая документация
1	Коэффициент использования микросхем и МСБ в блоке $K_{исп\ сх}$	1,000	~	~	+
2	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделия $K_{ам}$	1,000	—	~	+
3	Коэффициент механизации подготовки $K_{п\ эри}$	0,750	~	+	+
4	Коэффициент механизации контроля и настройки $K_{мкн}$	0,500	—	~	+
5	Коэффициент повторяемости ЭРИ $K_{п\ эри}$	0,310	~	~	+
6	Коэффициент применимости ЭРИ $K_{пр\ эри}$	0,187	~	~	+
7	Коэффициент прогрессивности формования деталей $K_{ф}$	0,110	—	—	+

Коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРИ к монтажу  $K_{мп\ эри} = N_{мп\ эри} / N_{эри}$ , где  $N_{мп\ эри}$  — число ЭРИ (штук), подготовка которых к монтажу может осуществляться механизированным или автоматизированным способом.

Коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров  $K_{мкн} = N_{мкн} / N_{кн}$ , где  $N_{мкн}$  — число операций контроля и настройки, которые можно осуществить механизированным или автоматизированным способом (в число указанных включаются операции, не тре-

бующие средств механизации);  $N_{\text{кн}}$  — общее число операций контроля и настройки.

Коэффициент повторяемости ЭРИ  $K_{\text{п эри}} = 1 - N_{\text{т эри}}/N_{\text{эри}}$ , где  $N_{\text{т эри}}$  — общее число типоразмеров ЭРИ в изделии.

Коэффициент применяемости ЭРИ  $K_{\text{пр эри}} = 1 - N_{\text{тор эри}}/N_{\text{т эри}}$ , где  $N_{\text{тор эри}}$  — число типоразмеров оригинальных ЭРИ в изделии.

К оригинальным относятся составные части (детали, узлы, ЭРИ), разрабатываемые и изготавливаемые впервые как самим предприятием-разработчиком, так и в порядке кооперирования с другими предприятиями.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей  $K_{\text{ф}} = N_{\text{пр}}/N_{\text{о}}$ , где  $N_{\text{пр}}$  — число деталей (штук), заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами формообразования (штамповкой, прессованием, порошковой металлургией и т. д.).

Количественный анализ конструкции изделий на технологичность проводится в два этапа:

анализ ранее разработанных базовых конструкций (изделий-аналогов) в целях установления базовых показателей уровня технологичности для сопоставления и оценки уровня технологичности вновь разрабатываемых изделий;

анализ вновь разрабатываемых конструкций по стадиям проектирования с установлением уровня их технологичности [4,25].

Состав базовых показателей, их ранжированная последовательность по значимости, коэффициент значимости  $\varphi$ ; на различных стадиях разработки аппаратуры приведены в табл. 3.15, где приняты следующие обозначения: «+» — показатель определяется, «~» — показатель определяется приближенно, «-» — показатель не определяется.

Идентификация оцениваемого по технологичности блока с тем или иным классом блоков должна осуществляться на основе анализа принятых схемно-конструктивно-технологических решений. Определение значений единичных показателей стандартизации и унификации производится по ОСТ 4.ГО.012.010. Показатели унификации характеризуют насыщенность конструкции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями. Под *составными частями* понимают детали или сборочные единицы. Составные части подразделяются на стандартные, унифицированные и оригинальные. К *стандартным* относят составные части, выпускаемые в соответствии с государственными, республиканскими и отраслевыми стандартами. *Унифицированными* составными частями являются части:

выпускаемые по стандартам предприятия, если ими поль-

зуются хотя бы в двух различных изделиях данного предприятия;

получаемые с других предприятий в порядке кооперирования; заимствованные из других разработок (спецификаций).

При курсовом проектировании показателями уровня унификации РЭС и их составных частей являются:

коэффициент применяемости

$$K_{\text{пр}} = \frac{N_c + N_y}{N_c + N_y + N_o} 100 = \frac{N_k - N_o}{N_k} 100 \%,$$

где  $N_c$  — число типоразмеров стандартных составных частей конструкции;

$N_y$  — число типоразмеров унифицированных составных частей конструкции;

$N_o$  — число типоразмеров оригинальных составных частей конструкции;

$N_k$  — общее число типоразмеров составных частей конструкции;

коэффициент повторяемости составных частей конструкции

$$K_{\text{п}} = \frac{N - N_k}{N} 100 \%,$$

где  $N$  — общее число составных частей.

При определении показателей унификации из расчета необходимо исключить широко распространенные детали и сборочные единицы (крепежные детали, заглушки, лепестки, прокладки и др.) для того, чтобы усилить удельный вес составных частей. Для сложных РЭС коэффициенты унификации определяют на уровне ячеек, ТЭЗ, блоков и т. п. Коэффициенты унификации определяют для каждого вида конструкции отдельно, а затем находят обобщенный коэффициент унификации для каждого функционально законченного устройства и РЭС в целом.

## **4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

---

### **4.1. СОСТАВЛЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

В пояснительной записке (ПЗ) даются подробные исходные данные к проекту и отражается выполнение всех пунктов задания на курсовое проектирование. Рекомендуется следующее содержание ПЗ, располагающееся в строгой последовательности



титульный лист, ведомость проекта, техническое задание, аннотация, оглавление, введение, анализ ТЗ, ЭЗ и оценка элементной базы, анализ аналогичных конструкций, разработка конструкции РЭС, конструкторские расчеты, выводы и заключение, список используемой литературы, приложения.

Приведенная последовательность расположения разделов обусловлена логикой конструкторской разработки РЭС. Следует заметить, что в курсовом проекте нецелесообразно выделять специальные разделы, связанные с применением ВТ, т. к. та должна использоваться на всех этапах аналитического обоснования принимаемых конструкторских решений и других расчетных работ.

*Титульный лист* выполняют на типовом бланке, принятом на кафедре. Он содержит название темы курсового проекта в том виде, в каком оно дано в ТЗ, и является первым листом ведомости курсового проекта.

*Ведомость курсового проекта* — текстовый КД (шифр КП), документ с перечнем всех входящих в курсовой проект документов, имеет разделы «Общая документация», «Документация по сборочным единицам» и «Документация по деталям». Требования в оформлении ведомости курсового проекта соответствуют требованиям к ведомости технического предложения (ГОСТ 2.118—73\*).

*Техническое задание* оформляется на типовом бланке (см. прил. 1), подписывается студентом, руководителем проекта и утверждается заведующим кафедрой.

*Аннотация* должна содержать краткие сведения о цели, содержании, объеме ПЗ и графической части проекта, основные результаты работы и возможности их практического применения. Рекомендуемый объем 0,5 с.

*Оглавление* оформляется на отдельном листе. Наименования разделов и подразделов приводят с указанием номеров страниц, на которых размещается их начало. Список использованной литературы и приложения помещают в конце.

*Введение* является первым разделом ПЗ. В нем обосновывается актуальность разработки данного вида РЭС, формулируется решаемая задача конструкторского проектирования, отмечается та часть работы, которая позволила получить оригинальные конструкторские решения, подчеркивается реальность проекта, указывается область использования достигнутых результатов. Объем 1—2 с.

Содержание и указания по составлению разделов: «Анализ ТЗ, ЭЗ и оценка элементной базы», «Анализ аналогичных конструкций» даны в п. 2.2.

Раздел «Разработка конструкции РЭС» выполняется в два этапа [16, 26]:

предварительная разработка конструкции (принятие принципиальных конструкторских решений);

разработка основных элементов и узлов конструкции РЭС (принятие окончательных технических решений).

На первом этапе должны быть рассмотрены следующие вопросы:

- анализ базовых и типовых несущих конструкций;
- выбор необходимого варианта или аргументированного обоснования оригинального конструкторского решения;
- выбор предварительного варианта компоновки устройства;
- выбор типа электрического монтажа;
- выбор способов защиты устройства от дестабилизирующих факторов (механических, климатических и различных помех);
- выбор способов обеспечения нормального теплового режима устройства;
- выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство ремонта и эксплуатации устройства;
- обеспечение требований стандартизации, унификации и технологичности конструкции устройства;
- описание выбранного варианта компоновки устройства. Содержание этих вопросов отражено в п. 2.4.

На втором этапе должны быть рассмотрены следующие вопросы:

- выбор базовых несущих конструкций и их элементов;
- выбор элементов крепления и фиксации;
- выбор конструктивного исполнения защиты устройства от механических воздействий;
- выбор конструктивных элементов электрического монтажа;
- анализ типов электрических соединителей;
- выбор конструктивного исполнения экранирования и заземления;
- выбор устройств охлаждения ячеек, блоков и РЭС в целом;
- выбор защитных и защитно-декоративных покрытий;
- выбор способов маркировки деталей и сборочных единиц, нанесение надписей на лицевых панелях.

Содержание перечисленных вопросов отражено в п. 2.5.

В разделе «Конструкторские расчеты» должны быть сгруппированы расчеты, которые следует проводить для обоснования принятых на предыдущих этапах конструкторских решений. Основными выполняемыми в курсовом проекте являются конструкторские расчеты: объемно-компоновочных характеристик устройства; размерных цепей; электромагнитной совместимости; надежности; параметров межэлектрических соединений; тепло-

вого режима; на механические воздействия; технологичности и унификации.

Методика расчетов изложена в разд. 3, а также в работах [11, 25]. Содержание и объем расчетного материала в каждом конкретном случае определяет руководитель курсового проектирования.

*Выводы и заключение* содержат сведения о соответствии разработанной конструкции ТЗ, о ее достоинствах и недостатках. Здесь указывают предполагаемые рекомендации, направленные на совершенствование РЭС.

*Список использованной литературы* включают только ту литературу, которая была использована студентом при выполнении расчетов и разработке конструкции РЭС. На указанные в списке работы должны быть сделаны ссылки по тексту ПЗ. Список литературы оформляют по ГОСТ 7.1—84.

*Приложение* — вспомогательный материал, имеющий самостоятельное смысловое значение, обычно это спецификации сб. чертежей, перечень элементов ЭЗ, распечатки программ расчетов или моделирования на ЭВМ и т. п. Каждое приложение должно начинаться с новой страницы и иметь заголовок, который располагается симметрично тексту. Если приложений несколько, их нумеруют арабскими цифрами, например: «Приложение 1». При наличии в приложении рисунков, таблиц или формул — нумерацию выполняют в пределах каждого приложения с добавлением буквы «П», например: «Рис. П.1.1; табл. П. 1.5».

Пояснительную записку выполняют в соответствии с основными требованиями и рекомендациями по выполнению текстовых документов (ЕСКД ГОСТ 2.105—79\*, ГОСТ 2.106—68\*). Текст ПЗ пишут чернилами на одной стороне стандартного листа формата А4 (A4 = 297 × 210) с полями: слева — 30 мм, справа — 10 мм, сверху и снизу — 20 мм. Нумерация листов — сквозная, первым является титульный лист, вторым — лист с техническим заданием и т. д.

В основной части ПЗ выделяют разделы, а если необходимо, подразделы и пункты. Разделы и подразделы имеют тематические заголовки, краткие и соответствующие содержанию. Заголовки разделов записывают прописными буквами, а подразделов — строчными. Разделы в пределах всей записки нумеруют арабскими цифрами с точкой.

Язык изложения ПЗ должен быть четким, кратким, исключая возможность субъективного толкования, и не иметь слов, которые выражают личные переживания автора, например, «это совершенно очевидно», «это очень легко может быть доказано», «не составляет особого труда» и т. п. Терминология,

определения, наименования и обозначения должны быть едиными на протяжении всего текста и соответствовать установленным стандартам. Следует избегать включения в текст общих положений, взятых из учебников, лучше сослаться на соответствующую литературу и привести отдельные выводы или формулы. В тексте ПЗ не допускается:

применять иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

использовать индексы стандартов ГОСТ, ОСТ, СТП, СТ СЭВ без их номеров.

Условные буквенные обозначения величин, а также условные графические изображения должны соответствовать стандартам.

Формулы могут иметь арабскую нумерацию в пределах раздела. Пояснения символов, числовых коэффициентов необходимо приводить сразу после формулы в последовательности, соответствующей приведенной в математическом выражении. При выборе символов и обозначений единиц измерения физических величин рекомендуется использовать стандарт СЭВ 1052—78.

Число иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Рисунки выполняют карандашом на белой бумаге. Рисунки имеют нумерационный и тематический заголовки, например: «Рис. 2.4. Эскиз компоновки лицевой панели источника питания». Каждая иллюстрация нумеруется последовательно в пределах каждого раздела арабскими цифрами и помещается после первого упоминания в тексте.

Цифровой материал рекомендуется оформлять в виде таблиц. Таблицу помещают сразу же за первым упоминанием о ней. Нумерация таблиц осуществляется в пределах каждого раздела арабскими цифрами. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. На все таблицы и рисунки, помещенные в тексте ПЗ, должны быть ссылки.

Список использованной литературы составляют в порядке ее упоминания в тексте ПЗ. Библиографическое описание источника указывается следующим образом:

*для книг:* фамилия и инициалы автора, наименование книги, место издания, издательство, год издания, количество страниц. Например: Гелль П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение. 1984. — 536;

*для статьи:* фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер страниц, на которых помещен источник. Например: Богушова И. П. и др. Система

машинного конструирования деталей (СИМАК). — ТР./Моск. энерг. ин-т, 1982, вып. 587, с. 83—90;

для *нормативно-технических документов*: наименование документа, место издания, наименование издательства, год издания, например: ГОСТ 2.109—73. Основные требования к чертежам.—М.: Комитет стандартов, мер измерительных приборов при СМ СССР, 1973.

## 4.2. ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Общие требования. Графическую часть курсового проекта выполняют в соответствии с требованиями ЕСКД. В нее может входить чертеж общего вида изделия; сборочный чертеж отдельных узлов; чертеж для электромонтажа; чертеж оригинальных деталей (шасси, корпуса, печатных плат и т. п.). Общий объем графической части не менее 2-х листов 24 формата (А1-594+841 мм). Формат листа студент выбирает с учетом максимального его заполнения.

Графические конструкторские документы содержат основные и дополнительные надписи. Графы основной надписи заполняются в соответствии с ГОСТ 2.104—68. При этом рекомендуется обратить внимание на следующие моменты.

1. Графу «Обозначение» заполняют по ГОСТ 2.201—80 «Классификация и обозначение изделий в конструкторских документах», используя методические указания [7].

2. В графу «Наименование изделия» записывают название изделия, блока или узла в именительном падеже и единственном числе, начиная с существительного, например, усилитель импульсный.

В графе «Утвердил» записывают фамилию заведующего той кафедрой, которой читается дисциплина «Конструирование РЭС».

4. Графу «Литера» заполняют в соответствии с ГОСТ 2.103—68, начиная с левой колонки. Литера, определяющая характер разрабатываемой документации (Т, Э, О и т. п.), уточняется с руководителем проекта при получении задания на проектирование.

5. Графу «Лист» заполняют в том случае, когда конструкторская документация выполнена более чем на одном листе.

6. В графе «Листов» указывают число листов, на которых выполнен документ (заполняется только на первом листе).

7. В графе «Индекс организации—разработчика» записывают индекс организации, предложившей тему проекта и выполнившей нормоконтроль документации.

8. В графе «Н. контроль» (нормоконтроль) указывают фа-

милнию нормоконтролера того предприятия, для которого выполнен проект.

9. Графу «Обозначение материала» заполняют только на чертежах деталей (правила ее заполнения приведены в ГОСТ 2.104—68). Все подписи должны быть выполнены чернилами, пастой или тушью черного цвета.

Спецификация. Спецификация выполняется в соответствии с ГОСТ 2.108—68\* на отдельных листах форматом А4 с основными надписями по форме 2 и 2а.

В курсовом проекте спецификация чертежей, как правило, содержит следующие разделы: «Документация», «Сборочные единицы», «Детали», «Стандартные издания», «Прочие изделия», «Материалы». При их заполнении необходимо руководствоваться отмеченным стандартом и обратить внимание на следующее.

1. В разделе «Документация» указывают только те документы, которые нужны для выполнения каких-либо операций при сборке РЭС (пояснительную записку проекта здесь не указывают).

2. Разделы «Сборочные единицы» и «Детали» заполняют в порядке увеличения десятичного обозначения документа с учетом трех последних цифр порядкового номера разработки изделий. Для предотвращения ошибок рекомендуется сначала выписывать наименования изделий, которые будут даны в спецификации, а затем присвоить им десятичные обозначения и записать в спецификацию, располагая в указанном порядке. После этого каждому изделию присваивают номер позиции, который и проставляют на сборочном чертеже.

3. В раздел «Стандартные изделия» заносят изделия по категории стандартов, в пределах каждой категории — по группам изделий, объединенных по функциональному назначению и располагающихся в алфавитном порядке (например, крепежные изделия, электротехнические изделия и т. п.), в пределах каждой группы — в алфавитном порядке наименований изделий (например, винты, гайки, шайбы), в пределах каждого наименования — в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта — в порядке возрастания типоразмеров изделий. В общем заголовке дают наименование тех изделий, число которых велико и которые отличаются только типоразмерами, далее они перечисляются в порядке возрастания их основного параметра.

4. В разделе «Прочие изделия» указывают изделия по однородным группам, располагающимся в алфавитном порядке, в пределах группы — в алфавитном порядке наименований изде-

лий, а в пределах наименования — в порядке возрастания основных параметров или размеров изделий.

5. В разделе «Материалы» записывают только основные материалы, т. е. такие, число которых может быть точно определено конструктором по чертежу (не записывают те, число которых определяется технологом при производстве изделий, например, лаки, клеи, замазки, припой и т. п.). Запись о применении таких материалов приводят в технических требованиях на поле сборочного чертежа с обязательным указанием стандартов или технических условий на эти материалы.

Спецификации рекомендуются выполнять на бланках, изготовленных типографским способом. Не допускается заполнение этих документов на пишущей машинке. Пример оформления спецификации дан в прил. 3.

Чертеж общего вида. Чертеж следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.119—73\* и ГОСТ 2.120—73\*. Он определяет конструкцию РЭС, взаимодействие его составных частей и поясняет принцип работы устройства, включает форму деталей и характерные размеры, которые облегчают выяснение формы элементов деталей (например обозначение диаметра для деталей круглой формы); содержит посадки — предельные отклонения сопрягаемых поверхностей, сопровождается техническими требованиями к изделию (например, по покрытию, методам сборки), дает технические характеристики, необходимые для разработки рабочих чертежей.

Чертеж общего вида должен содержать сведения о составных частях изделия в таблице, выполненной на том же листе или на отдельных листах формата А4, обозначаемые как последующие листы того же чертежа. Конструктор по своему усмотрению составляет таблицу, где он последовательно записывает: заимствованные изделия; покупные; вновь разрабатываемые. Сведения о РЭС можно приводить на полках линий-выносок или оформлять в виде спецификаций.

Сборочные чертежи. Такие чертежи выполняют в соответствии с ГОСТ 2.109—73 и ГОСТ 2.305—68. Для них наиболее предпочтительным является масштаб 1:1, так как он обеспечивает наглядное представление о размерах и форме РЭС, подлежащего сборке. Число проекций и видов выбирают так, чтобы в полном объеме обеспечивалось изображение изделия и крепления всех деталей конструкции. Разрезы и сечения применяют в том случае, когда внешние очертания или форма деталей не дают четкого представления о характере, порядке их взаимного размещения и соединения. Желательны разрезы, показывающие способы реализации крепления деталей (запрессовка, склеивание и т. п.). Желательно использовать способы

упрощенного изображения элементов конструкции, особенно если они представлены в проекте в виде чертежей деталей или являются стандартными, например, винты, гайки и др. Это важно для чертежей РЭС, содержащих несколько одинаковых частей конструктивных элементов. В данном случае подробно вычерчивают один элемент, а остальные — упрощенно.

Сборочный чертеж содержит:

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; допускается на сборочных чертежах помещать дополнительные схематические изображения соединения и расположения составных частей изделия;

размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу; допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения;

указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, подгонкой, а также указания о выполнении неразъемных соединений (сваркой, пайкой и т. п.);

номера позиций составных частей, входящих в изделие;

установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

координаты центров масс (при необходимости).

Указывая установочные и присоединительные размеры, наносят: координаты расположения, размеры с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями; другие параметры, например, число контактных пар электрического соединения.

Пример оформления сборочного чертежа показан в прил. 4 (вкладка).

Для упрощения чтения чертежа рекомендуется:

для крепежных изделий делать общую линию-выноску и вертикально располагать номера позиций крепежных деталей с указанием их числа (для двух единиц и более);

не допускать пересечения размерных линий с линиями-выносками (разрешается один изгиб линии-выноски);

габаритные размерные линии наносить так, чтобы они располагались справа и снизу относительно вида.

Общие рекомендации по применению покрытий. 1. Углеродистые стали (Ст. 20, Ст. 30, Ст. 45, 410, 412)



обладают низкой коррозионной стойкостью и подлежат обязательной антикоррозионной защите. Покрытие Ц18.хр. рекомендуется в основном для крепежных деталей. Кд 9. 6, Кд 9.хр — для ответственных деталей конструкции.

2. Низколегированные стали (20Х, 40Х, 40ХНА, 18 ХГТ и т. п.) также обладают низкой коррозионной стойкостью и подлежат защите: Кд 9. хр, Хим. Окс. Фос.

3. Бронзы Бр0Ф6-0,15, БрБ2, БрБАТ-19 и т. п.) обладают высокой коррозионной стойкостью, поэтому не требуют защитных покрытий, их можно лишь пассивировать: Хим. Пас.

4. Латунни с содержанием меди 62 % и более (Л62, Л68) имеют удовлетворительную коррозионную стойкость и могут применяться в пассивированном состоянии: Хим. Пас. Детали, изготовленные из латуней с содержанием меди менее 62 % (Л59 и др.), требуют защиты от коррозии гальваническими покрытиями: О-Ви (95)9, О-119 или лакокрасочное покрытие — ЛКП (лак УР-231).

5. Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и антикоррозионной защиты не требуют, в декоративных целях могут покрываться ЛКП.

6. Алюминиевые литейные сплавы (АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9, АЛ13) обладают относительно высокой коррозионной стойкостью. Детали из них рекомендуется подвергать химическому оксидированию: Хим. Окс, а внешние поверхности корпусных деталей — с дополнительным ЛКП.

7. Алюминиевые деформируемые и ковочные сплавы (АД1, АД-33, Д1, Д16Т-А, АК4, АК6, АК8), а также алюминий-магниево-медные сплавы (АМг, АМг-5, АМг-6) требуют анодного оксидирования: Ан. Окс. Хр., Ан. Окс. черн., а внешние поверхности корпусных деталей — Ан. Окс. ЛКП.

8. Детали, подлежащие пайке, необходимо меднить с последующим покрытием оловом: М40. 0-13.

9. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают нержавеющие стали (Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, Х28 и др.). Для улучшения коррозионной стойкости рекомендуется механическая обработка с шероховатостью  $Ra \leq 1,25$  с последующей механической или электрополировкой и пассивацией в растворе азотной кислоты (Хим. Пас.).

10. Пружины, изготовленные из углеродистых или низколегированных сталей, необходимо кадмировать (Кд) или подвергать оксидному фосфатированию (Хим. Окс. Фос.) и покрывать двумя слоями лака УР-23.

11. Токоведущие детали рекомендуется изготавливать из меди и медных сплавов и покрывать никелем (Н13) или сплавом олово-никель (О-Н13).

12. На наружные поверхности корпусов рекомендуется наносить лакокрасочные покрытия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базовый принцип конструирования РЭА /Под ред. *Е. М. Парфенова*. М.: Радио и связь, 1981. 120 с.
2. *Варламов Р. Г.* Компоновка РЭА. М.: Сов. радио, 1975. 352 с.
3. *Верхоятницкий П. Д., Латинский В. С.* Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Судостроение, 1983. 232 с.
4. *Гель П. П., Иванов-Есипович Н. К.* Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 536 с.
5. *Дендобренко Б. Н., Малика А. С.* Автоматизация конструирования РЭА. М.: Высш. шк., 1980. 247 с.
6. *Дульнев Г. Н.* Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высш. шк., 1984. 247 с.
7. Классификатор радиотехнических изделий: Метод. указания /Куйбышев авиац. ин-т; Сост. *А. Н. Чекмарев, В. В. Пахомов, П. Е. Мологов*. Куйбышев, 1988.
8. *Князев Н. Д.* и др. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости /*А. Д. Князев, Л. Н. Кечиев, Б. В. Петров*. М.: Радио и связь, 1989. 224 с.
9. *Козлов Б. А., Ушаков И. А.* Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. радио, 1975. 472 с.
10. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры: Справ. пособие /*П. И. Овсищев, И. И. Лившиц, А. К. Орчинский* и др.; Под ред. *Б. Ф. Высоцкого*. М.: Радио и связь, 1982. 208 с.
11. Конструкторские расчеты в РЭА: Метод. указания /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. *А. Н. Чекмарев, Г. Ф. Краснощекова*, Куйбышев, 1986.
12. Конструирование и оформление чертежа печатной платы: Метод. указания /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. *А. Н. Чекмарев, С. Ф. Кузнецов*; Куйбышев, 1988.
13. *Кузьмин А. Я.* Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
14. *Левин А. П., Саатикова Н. Э.* Расчет вибропрочности конструкций РЭА: Учеб. пособие /МИРЭА М., 1983. 88 с.
15. *Ненашев А. П., Коледов Л. А.* Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1981. 304 с.
16. *Парфенов Е. М.* и др. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов /*Е. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачев*. М.: Радио и связь, 1989. 272 с.
17. *Пестряков В. Б.* Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1969. 208 с.
18. *Пименов А. И.* Снижение массы конструкций РЭА. М.: Радио и связь, 1981. 128 с.
19. *Поляков К. П.* Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1982. 240 с.
20. *Преснухин Л. Н., Шахнов В. А.* Конструирование электронных вычислительных машин и систем. М.: Высш. шк., 1986. 512 с.
21. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник /*Э. Т. Романычева, А. К. Иванова, А. С. Куликов* и др.; Под ред. *Э. Т. Романычевой*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 448 с.

22. Разработка конструкций модулей низших уровней: Учеб. пособие по курсу «Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры» /В. И. Пономарев, А. М. Сапожников, В. Н. Свитенко /Харьк. авиац. ин-т. Харьков, 1986. 93 с.

23. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. В. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА. М.: Сов. радио, 1976. 232 с.

24. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность /А. А. Барканов, Б. Е. Бердичевский, П. Д. Верховятницкий и др.; Под ред. Р. Г. Варламова. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.

25. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования /Под ред. Р. Г. Варламова. М.: Сов. радио, 1980. 480 с.

26. Учебное пособие по курсам «Теоретические основы конструирования РЭА», «Конструирование и микроминиатюризация РЭА» /В. И. Луценко, В. И. Пономарев, А. М. Сапожников, В. Н. Свитенко /Харьк. авиац. ин-т, Харьков, 1985. 95 с.

27. Шерстнев В. В. Конструирование и микроминиатюризация РЭА: Учебник для вузов. М.: Сов. радио, 1972. 176 с.

Типовой бланк задания на курсовое проектирование

КАФЕДРА «КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ»

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по конструированию РЭС

Студент \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_

Срок представления проекта \_\_\_\_\_ 199 г.

1. Тема проекта: Разработка конструкции \_\_\_\_\_

2. Исходные данные

2.1. Наименование и область применения \_\_\_\_\_

2.2. Схема электрическая принципиальная (прилагается к заданию)

2.3. Условия эксплуатации \_\_\_\_\_

Объект установки \_\_\_\_\_

3. Требования, предъявляемые к конструкции:

Функциональные параметры \_\_\_\_\_

Габариты и масса \_\_\_\_\_

Показатели надежности \_\_\_\_\_

Технологические требования \_\_\_\_\_

Программа выпуска \_\_\_\_\_

4. Объем курсового проекта

4.1. Пояснительная записка (20 ... 30 с), содержащая:

- а) анализ задания и схемы электрической принципиальной;
- б) обоснование выбора ЭРЭ и материалов;
- в) обоснование компоновки блока, основных узлов;
- г) конструкторские расчеты: объемно-компоновочных характеристик, размерных цепей, печатного монтажа, теплового режима, надежности и др.;
- д) техническое описание разработанной конструкции.

4.2. Перечень графического материала:

- сборочный чертеж блока (узла)/со спецификацией;
- чертеж для электромонтажа блока (узла);
- сборочные чертежи отдельных узлов;
- чертежи оригинальных деталей, печатной платы.

5. Рекомендуемая литература \_\_\_\_\_

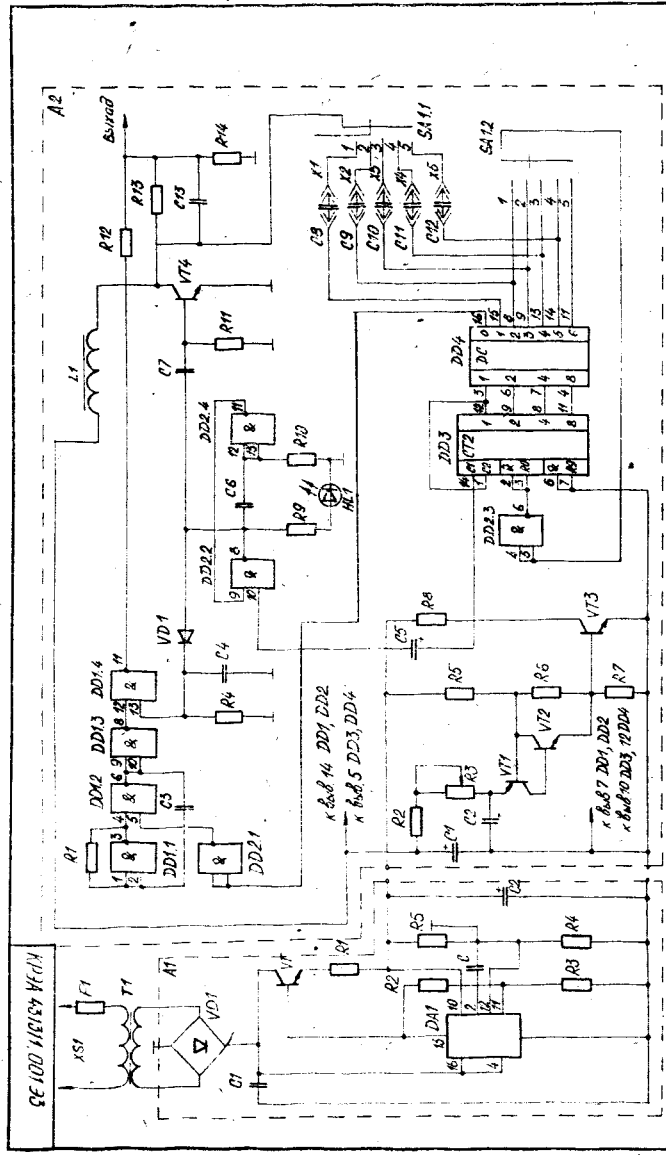
Задание выдано \_\_\_\_\_ 199 г.

Подпись руководителя \_\_\_\_\_ Подпись студента \_\_\_\_\_

Примечание: студент должен согласовать с руководителем график выполнения работы, отражающий весь период проектирования.

Схема электрическая принципиальная

Приложение 2



КРЭА 431311.00033	Ударный ЭМИ-обратный	Итого вышло	20/20 шт
	Схема электрическая	вот	1:1
	принципиальная	вот	1:1
	КРЭА		
	КРЭА		

продолжение прил. 2

Поз. Обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
A1	КРЭА 469435.000	1	
	Конденсаторы		
C			
C1	K50-6-2000 мкФ - 15В ОЖО.464.107ТУ	1	
C2	K50-6-200 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
	Микроплата		
DA1	КМ2ЕН16 ДИО.347.098ТУ	1	
	Резисторы МПТ ГОСТ 7115-77		
R1	МПТ-0,125-10м ±5%	1	
R2	МПТ-0,125-180 Ом ±5%	1	
R3	МПТ-0,125-1,5 КОм ±5%	1	
R4	МПТ-0,125-1,9 КОм ±5%	1	
R5	МПТ-0,125-22 КОм ±5%	1	
	Диад		
VD1	Сборка КЦ 402Е	1	
	Транзистор		
VT	КТ803А Ге3.365.008 ТУ	1	
A2	КРЭА.469431.000	1	
	Конденсаторы		
C1	K50-6-200 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
C2	K50-6-10 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
C3	K53-1-2,2 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
C4	K50-6-500 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
C5	K50-6-10 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
C6	K53-1-100 мкФ - 6,3В ОЖО.464.107ТУ	1	
КРЭА 431311.001 ПЗЗ			
Информационная таблица			Итого листов 3
Изданный ЭМИ - автоматом			7
Перечень элементов			3
			кзд. КРЭА







спецификация

Приложение 3

Формат	Зона	№№	Обозначение	Наименование	кол	Примечание
				<u>Документация</u>		
А2			КРЭА.431311.001СБ	Сборочный чертёж		
А2			КРЭА.431311.001МЭ	Электромонтажный чертёж		
				<u>Сборочные единицы</u>		
А2	1		КРЭА.469435.000	Плита А1	1	
А2	2		КРЭА.469438.000	Плита А2	1	
А3	3		КРЭА.469511.000	Трансформатор	1	
А3	4		КРЭА.469521.000	Переключатель "В сборе"	1	
А3	5		КРЭА.469673.000	Напущика индуктивности	1	
				<u>Детали</u>		
А3	6		КРЭА.769445.000	Крышка	1	
А3	7		КРЭА.769424.000	Основание	1	
А3	8		КРЭА.769431.000	Передняя панель	1	
А3	9		КРЭА.769431.000	Задняя панель	1	
А4	10		КРЭА.769422.000	Ножка	4	
А4	11		КРЭА.769416.000	Кронштейн	2	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		12		Винт М3-6×10 ГОСТ 17473-80	24	
		13		Гайка М3-6×12×18Н9Г ГОСТ 5927-70	10	
			КРЭА.431311.001			
Изм/лист	№ докум	Подпись	Дата	Ударный ЭМИ-объект		
Разраб	Составил	Св.уч.	3.16.80			
Провер	Чек.провер	И.И.	10.10.93	Листов	лист	Листов
				0	1	2
И. КОДИР: С.Т.В.				код: КРЭА		



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. ЗАДАЧИ КОНСТРУИРОВАНИЯ, ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
1.1. Цель и задачи дисциплины	9
1.2. Проблемное обучение в процессе курсового проектирования	7
1.3. Темы курсовых проектов	8
1.4. Задание на курсовое проектирование	9
1.5. Организация курсового проектирования	10
1.6. Основные определения	14
2. МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ	18
2.1. Процесс конструиования как система	18
2.2. Методика поиска конструкторского решения	21
2.3. Конкретизация требований к разработке конструкции. Выделение структурных уровней конструкции	
2.4. Предварительная разработка и компоновка конструкции	28
2.5. Разработка конструкции изделия и оценка его качества	36
3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ	44
3.1. Расчет объемно-компоновочных характеристик	44
3.2. Расчет надежности	46
3.3. Расчет элементов печатного монтажа	53
3.4. Расчет теплового режима	59
3.5. Расчет технологичности и унификации	68
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	71
4.1. Составление и оформление пояснительной записки	71
4.2. Оформление графической документации	76
Библиографический список	81
Приложение 1. Типовой бланк задания на курсовое проектирование	83
Приложение 2. Схема электрическая принципиальная	84
Приложение 3. Спецификация	88
Приложение 4. Сборочный чертеж	(вкладка)

Молотов Петр Ефимович  
Чекмарев Анатолий Николаевич

## КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Редактор Е. Д. Антонова  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Н. С. Куприянова

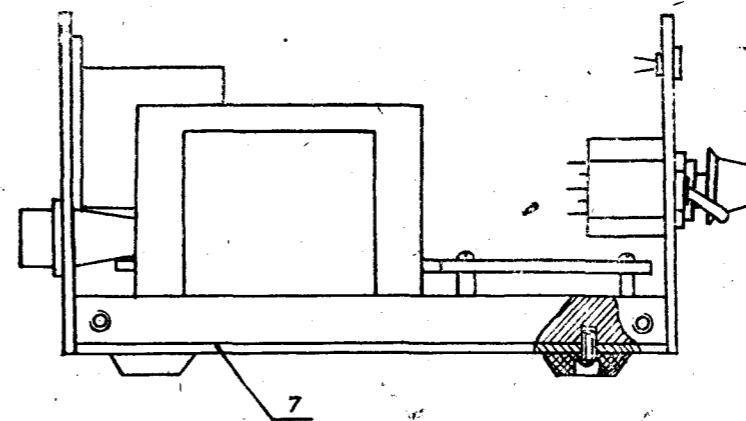
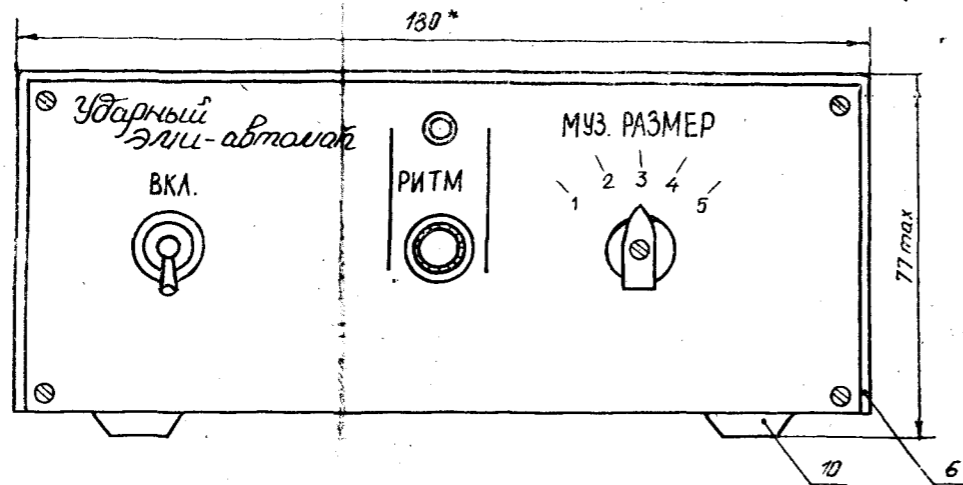
Свод. тем. пл. № 1135  
Сдано в набор 3.12.91 г. Подписано в печать 14.03.91 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. п. л. 5,35 + 1 вкладка. Усл. кр.-отт. 5,5. Уч.-изд. л. 5,8.  
Заказ 66. Тираж 500. Цена 40 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева  
443086 Куйбышев, Московское шоссе, 34.

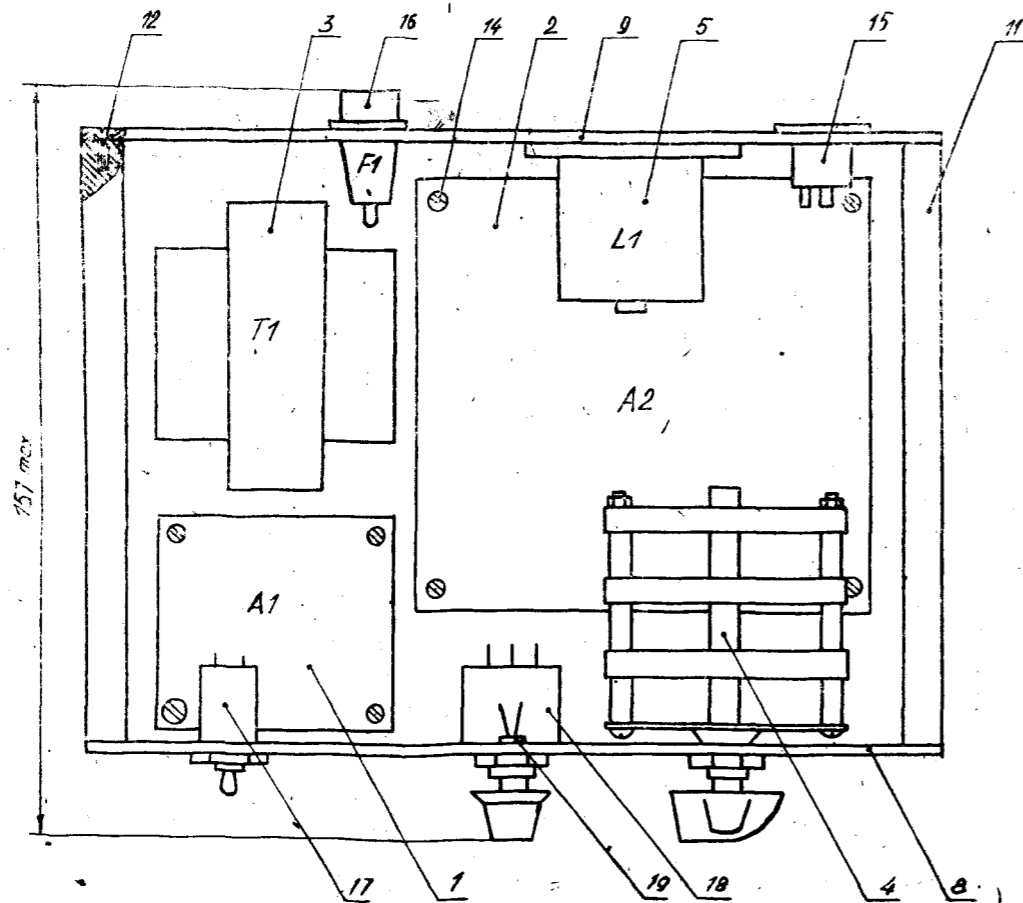
---

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института  
443001, Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

КРЭА.431311.001СБ



Крышка поз. 6 снята



1. Размеры для справок
2. Электромонтаж выполнять по КРЭА.431311.001МЭ
3. Деталь поз.19 ставить на клей 88НП
4. Стягивание винтов по ОСТ4.ГО.019.200; поз.12 - Вид 28Г
5. Деталь поз.4 устанавливать после детали поз.2
6. Заводской номер маркировать краской ЧМ черного цвета ТУ 29-02-859-78 шрифтом 3 по НО.010.007
7. Остальные технические требования по ОСТ4.ГО.070.015

КРЭА.431311.001СБ				Литер	Масса	Масш.
Изм./лист	№ докум.	Исполн.	Дата	Ударный ЭМУ-автомат	0	3кг 1:1
Разраб.	Свердлов	Иван	5/82	Сборочный чертеж		
Провер.	Чернышев	Вильям	капуст		лист	листан
Н. контр.						
Т. контр.						
Утв.						коф КРЭА

ТАБЛИЦА ПОЛЯ ДОПУСКОВ ВАЛОВ И ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ОТ 1 ДО 500 ММ /СИСТЕМА ОТВЕРСТИЙ/ ОГРАНИЧЕНИЕ ОСТ 84-254-79

ИНТЕРВАЛ РАЗМЕРОВ, ММ	ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ИНТЕРВАЛ РАЗМЕРОВ, ММ									
	ПОЛЯ ДОПУСКОВ ПО СТ СЭВ 144-75																																					
	Н6	н6	Н7	н7	Н8	н8	Н9	н9	Н10	н10	Н11	н11	Н12	н12	Н13	н13	Н14	н14	Н15	н15	Н16	н16	Н17	н17	Н18	н18	Н19	н19										
	ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ														М К М																							
От 1 до 3	+8	0	+10	+20	+16	+10	+6	+3.0	0	-2	-6	-14	+14	0	-10	+32	+25	0	-6	-20	+60	0	-20	-140	-270	+100	0	-140	+250	0	+125	+400	0	+200	+600	0	+300	-800
СВ 3 >> 6	+8	0	+12	+23	+16	+9	+4.0	0	-1	-10	-20	+18	0	-12	+41	+30	0	-10	-30	+75	0	-30	-140	-270	+120	0	-140	+300	0	+150	+480	0	+240	+750	0	+375	-975	
«6» >> 10	+8	0	+15	+28	+19	+10	+4.5	0	-1	-13	-25	+22	0	-15	+30	+36	0	-13	-40	+90	0	-40	-150	-280	+150	0	-150	+360	0	+180	+580	0	+360	+900	0	+450	-1450	
«10» >> 14	+11	0	+18	+34	+23	+12	+5.5	0	-6	-16	-32	+27	0	-16	+60	+43	0	-15	-50	+110	0	-50	-150	-290	+180	0	-150	+430	0	+215	+700	0	+350	+1100	0	+550	-1550	
«14» >> 18	0	-8	0	+23	+12	+1	-5.5	-11	-17	-34	-59	0	-18	+33	0	-43	-54	-93	0	-113	-160	-260	-400	0	-180	-330	0	-430	-215	0	-700	-350	0	-1100	-550			
«18» >> 24	+13	0	+21	+41	+28	+15	+6.5	0	-7	-20	-40	+33	0	-20	+74	+52	0	-20	-65	+130	0	-65	+160	+300	+240	0	-160	+320	0	+260	+840	0	+420	+1300	0	+650	-1650	
«24» >> 30	0	-8	0	+28	+15	+2	-6.5	-13	-20	-44	-73	0	-24	+81	+48	0	-52	-72	-117	0	-130	-195	-290	-430	0	-210	-370	0	-520	-260	0	-840	-420	0	-1300	-650		
«30» >> 40	+16	0	+25	+50	+33	+18	+8.0	0	-9	-25	-50	+39	0	-25	+99	+62	0	-25	-80	+160	0	-80	-170	-310	+250	0	-170	+620	0	+310	+1000	0	+500	+1600	0	+800	-1800	
«40» >> 50	0	-11	0	+34	+17	+2	-8.0	-16	-25	-50	-89	0	-25	+109	+70	0	-62	-87	-142	0	-160	-240	-180	-320	0	-250	-180	0	-620	-310	0	-1000	-500	0	-1600	-800		
«50» >> 65	+19	0	+30	+60	+41	+24	+9.5	0	-10	-30	-60	+46	0	-30	+133	+87	0	-30	-100	+190	0	-100	-190	-340	+300	0	-190	+740	0	+370	+1200	0	+600	+1000	0	+950	-2000	
«65» >> 80	0	-13	0	+62	+31	+2	-9.5	-19	-29	-60	-106	0	-30	+148	+102	0	-74	-104	-174	0	-190	-290	-200	-360	0	-300	-280	0	-740	-370	0	-1200	-600	0	-1000	-950		
«80» >> 100	+22	0	+35	+70	+45	+25	+11.0	0	-12	-36	-72	+54	0	-36	+178	+124	0	-36	-120	+220	0	-120	-220	-380	+350	0	-220	+870	0	+435	+1400	0	+700	+2200	0	+1100	-2400	
«100» >> 120	0	-15	0	+77	+38	+3	-11.0	-22	-14	-71	-126	0	-35	+198	+144	0	-87	-123	-207	0	-220	-340	-460	0	-350	-340	0	-870	-435	0	-1400	-700	0	-2200	-1100			
«120» >> 140	+25	0	+40	+92	+52	+28	+12.5	0	-14	-43	-85	+63	0	-43	+233	+170	0	-43	-145	+290	0	-145	-280	-520	+400	0	-280	+1000	0	+500	+1600	0	+800	+2500	0	+1250	-2800	
«140» >> 160	0	-18	0	+125	+62	+3	-12.5	-25	-39	-83	-148	0	-40	+253	+190	0	-100	-143	-245	0	-290	-395	-530	0	-400	-380	0	-900	-450	0	-1600	-800	0	-2500	-1250			
«160» >> 180	+29	0	+46	+117	+66	+33	+14.5	0	-15	-50	-100	+72	0	-50	+308	+234	0	-50	-170	+290	0	-170	-340	-600	+460	0	-340	+1150	0	+575	+1850	0	+925	+2300	0	+1150	-3000	
«200» >> 225	0	-20	0	+159	+79	+4	-14.5	-29	-44	-96	-172	0	-46	+358	+267	0	-115	-165	-285	0	-290	-460	-620	0	-460	-620	0	-1150	-575	0	-1850	-925	0	-2900	-1450			
«225» >> 250	+32	0	+52	+130	+66	+36	+16.0	0	-17	-56	-110	+81	0	-56	+396	+297	0	-56	-190	+320	0	-190	-380	-720	+520	0	-380	+1300	0	+650	+2100	0	+1050	+3200	0	+1600	-4000	
«250» >> 280	0	-23	0	+169	+84	+4	-16.0	-32	-49	-108	-191	0	-52	+437	+329	0	-130	-186	-320	0	-320	-510	-680	0	-520	-680	0	-1300	-650	0	-2100	-1050	0	-3200	-1600			
«280» >> 315	+36	0	+57	+150	+73	+40	+18.0	0	-18	-62	-125	+89	0	-62	+479	+360	0	-62	-210	+360	0	-210	-420	-840	+570	0	-420	+1400	0	+700	+2300	0	+1150	+3600	0	+1800	-4500	
«315» >> 355	0	-25	0	+190	+95	+4	-18.0	-36	-54	-119	-214	0	-57	+529	+402	0	-140	-202	-360	0	-360	-570	-780	0	-570	-780	0	-1400	-700	0	-2300	-1150	0	-3600	-1800			
«355» >> 400	+40	0	+63	+170	+80	+45	+20.0	0	-20	-62	-135	+97	0	-62	+579	+460	0	-62	-230	+400	0	-230	-460	-920	+630	0	-460	+1500	0	+775	+2500	0	+1250	+4000	0	+2000	-5000	
«400» >> 450	0	-27	0	+202	+101	+5	-20.0	-40	-60	-131	-252	0	-63	+637	+540	0	-155	-223	-385	0	-400	-630	-840	0	-630	-840	0	-1550	-775	0	-2400	-1200	0	-4000	-2000			
«450» >> 500				+222	+111										+677	+540																						

ПОЛЯ ДОПУСКОВ ВАЛОВ И ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ РАЗМЕРОВ МЕНЬШЕ 1 ММ / СИСТЕМА ОТВЕРСТИЙ /

ИНТЕРВАЛ РАЗМЕРОВ, ММ	ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ОТВ		ВАЛ		ИНТЕРВАЛ РАЗМЕРОВ, ММ																					
	ПОЛЯ ДОПУСКОВ ПО СТ СЭВ 144-75																																					
	Н6	н6	Н7	н7	Н8	н8	Н9	н9	Н10	н10	Н11	н11	Н13	н13	Н15	н15																						
	ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ								М К М																													
От 0.1 до 0.3	+6	0	+10	+20	+16	+10	+6	+3.0	0	-2	-6	-14	+14	0	-10	+32	+25	0	-6	-20	+60	0	-20	-140	-270	+100	0	-140	+250	0	+125	+400	0	+200	+600	0	+300	-800
СВ 0.3 >> 0.6	+6	0	+12	+23	+16	+9	+4.0	0	-1	-10	-20	+18	0	-12	+41	+30	0	-10	-30	+75	0	-30	-140	-270	+120	0	-140	+300	0	+150	+480	0	+240	+750	0	+375	-975	
«0.6» >> 1.0	+6	0	+15	+28	+19	+10	+4.5	0	-1	-13	-25	+22	0	-15	+30	+36	0	-13	-40	+90	0	-40	-150	-280	+150	0	-150	+360	0	+180	+580	0	+360	+900	0	+450	-1450	
ПОЛЯ ДОПУСКОВ ПО ГОСТ 301-76	A2a	C2a	A2a	PR22a	PR22a	C2a	X3	A3	C2a	PR22a	PR13	Ш13	Ш15	A2a	C2a	A4	B4	A5	B5	A7	B7	CM7	A8	B8	CM8	A9	B9	CM9										

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. □ - ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬНЫЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ  
 2. \* - ВАЛЫ ДОПУСКОВ, КАК ПРАВИЛО НЕ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ПОСАДОК