



Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры

Разработка технического задания и технических предложений на проектирование РЭС



Томск 2018

Кобрин Юрий Павлович

Разработка технического задания и технических предложений на проектирование РЭС.

Учебное пособие к курсовому проектированию по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС» для студентов специальности «11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств». 2-е изд., перераб. и доп. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), кафедра КИПР, 2018. – 94 с.

Чтобы сокращение срока обучения на один год (по сравнению со специалитетом) в меньшей мере сказывалось на уровне и качестве подготовке выпускника профиля «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», способного компетентно решать весь комплекс проблем разработки систем, схем, конструкций и технологий в сфере электронного приборостроения, необходимы учебные пособия, в сжатом виде, но в то же время достаточно полно отражающие эти проблемы.

Рассмотрены вопросы разработки технического задания (ТЗ) на проектирование радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения с применением на всех этапах информационных технологий. Приведены необходимые теоретические и справочные данные, необходимые для анализа ТЗ и формирования технических предложений по проектированию РЭС, что позволяет свести к минимуму потребность в дополнительной литературе.

Второе издание обновлено с учётом введения в действие новых стандартов ЕСКД.

Учебное пособие предназначено для помощи в подготовке бакалавров и магистрантов в области разработки и исследования РЭС различного назначения, выполнения курсовых и дипломных проектов, но может быть использовано разработчиками электронной аппаратуры и студентами других специальностей радиотехнического профиля в качестве справочника.

©Кафедра КИПР федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)», 2018.

© Кобрин Ю.П. 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1	Разработка технического задания	4
1.1	Назначение	4
1.2	Содержание технического задания.....	5
1.2.1	Наименование, шифр разработки, основание, исполнитель и сроки выполнения	6
1.2.2	Цель выполнения разработки, наименование и обозначение изделия.....	6
1.2.3	Технические требования к изделию	7
1.2.4	Технико-экономические требования.....	11
1.2.5	Требования к видам обеспечения	11
1.2.6	Требования к консервации, упаковке и маркировке	12
1.2.7	Требования к документации	12
1.2.8	Этапы выполнения разработки	12
1.2.9	Порядок выполнения и приёмки этапов разработки	12
1.3	Основные требования к оформлению ТЗ	12
2	Разработка технических предложений.....	13
2.1	Анализ технического задания и выбор вариантов конструктивно-технологических решений.....	13
2.2	Анализ назначения и условий эксплуатации РЭС	13
2.3	Анализ схмотехнических требований и ограничений	17
2.4	Анализ способов охлаждения	24
2.4.1	Тепловые режимы РЭС	24
2.4.2	Характеристика систем охлаждения РЭС	26
2.4.3	Выбор способа охлаждения РЭС.....	32
2.4.4	Выводы	37
2.5	Анализ климатических воздействий	40
2.5.1	Климатические воздействия на РЭС	40
2.5.2	Классификация РЭС по механическим и климатическим воздействиям	40
2.5.3	Группы жёсткости.....	41
2.5.4	Особенности конструкции РЭС в зависимости от района эксплуатации	41
2.5.5	Защита РЭС от влияния влаги и других атмосферных факторов.....	49
2.5.6	Влияние атмосферного давления	53
2.5.7	Защита РЭС от биологических воздействий	54
2.6	Анализ радиационных воздействий.....	55
2.7	Анализ механических воздействий	59
2.7.1	Характеристика механических воздействий	60
2.7.2	Параметры эксплуатационных воздействий для РЭС различных групп	62
2.8	Анализ безопасности эксплуатации	71
2.8.1	Опасность поражения электрическим током.....	71
2.8.2	Опасность теплового воздействия на человека.....	77
2.8.3	Опасность шумового и вибрационного воздействия	77
2.8.4	Опасность электромагнитных излучений.....	78
2.9	Анализ эстетических и эргономических показателей конструкции	80
2.10	Технико-экономические показатели	83

3 Цели и задачи курсового проекта	84
3.1 Основными задачами курсового проектирования являются:	84
3.2 При разработке проекта необходимо знать и учитывать:	84
3.3 В ходе курсового проектирования студент должен научиться:.....	85
3.4 Задание на курсовое проектирование	85
4 Список литературы	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Бланк индивидуального задания	93

1 Разработка технического задания

1.1 Назначение

Техническое задание (ТЗ, техзадание) - это исходный технический документ для проведения работы, устанавливающий требования к создаваемому изделию (его составным частям или к комплектующим изделиям межотраслевого применения) и технической документации на него, а также требования к объёму, срокам проведения работы и форме представления результатов [1].

В соответствии с ГОСТ **2.103-2013. Стадии разработки** [2] составление технического задания является первой стадией разработки нового или модернизации старого РЭС¹, а само ТЗ – главным документом для принятия решений на всех последующих этапах проектирования. Именно оно максимально полно и грамотно определяет основные направления разработки конструкции и принципа работы будущего РЭС. Без ТЗ проектирование РЭС никогда не осуществляется, так как не определены его цели, условия эксплуатации, технические характеристики, экономические требования, комплектность документации, порядок её контроля, приёмки и т.д.

Обычно ТЗ разрабатывается разработчиком РЭС (предприятие, организация, объединение, юридическое или физическое лицо). Оптимальное ТЗ получится, если разработчик выполняет его в тесном контакте с заказчиком (предприятие, организация, объединение или другой субъект хозяйственной деятельности), по договору с которым производится разработка или модернизация РЭС.

Обязанность заказчика – понять, что именно ему нужно. Для этого он вначале подготавливает важнейшие исходные положения ТЗ, все свои пожелания и требования, чтобы максимально облегчить работу над изделием и сократить сроки разработки. Исполнитель уточняет и формализует этот документ, добавляет необходимую для проектирования информацию. Документ неоднократно согласовывается, пока все стороны не придут к его однозначной интерпретации, и подписывается.

Согласованное и утверждённое ТЗ является юридически обязательным документом и для заказчика, и для исполнителя разработки. Заказчик является источником финансирования, и его задача требовать от исполнителя соответствия изделия всем условиям, оговорённым в ТЗ. Исполнитель должен понять суть задачи, обсудить и утвердить с заказчиком схемы и эскизы общего вида будущего изделия, спланировать выполнение проекта и гарантировать качество и сроки разработки. Исполнитель не должен выполнять работы, не указанные в ТЗ.

Проектирование РЭС - творческий и часто непредсказуемый процесс. Как бы тщательно не было составлено ТЗ, в процессе работы может появиться необходимость в его изменении (как со стороны исполнителя, так и заказчика). В любом случае эти изменения

¹ **РЭС (РадиоЭлектронные Средства)** - Технические средства, предназначенные для передачи и (или) приёма радиоволн, состоящие из одного или нескольких передающих и (или) приёмных устройств либо комбинации таких устройств и включающие в себя вспомогательное оборудование.

должны быть юридически оформлены на основе консенсуса между заказчиком и исполнителем, что возможно только при готовности обеих сторон оперативно перестроиться и приспособиться к новым требованиям и условиям.

1.2 Содержание технического задания

Требования к содержанию и оформлению технического задания регламентированы ГОСТ 15.016-2016 [1]. ТЗ может состоять из разделов, располагаемых в следующем порядке:

1. Наименование, шифр разработки, основание, исполнитель и сроки выполнения;
2. Цель выполнения разработки, наименование и обозначение изделия;
3. Технические требования к изделию;
4. Техничко-экономические требования;
5. Требования к видам обеспечения;
6. Требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям;
7. Требования к консервации, упаковке и маркировке;
8. Требования к учебно-тренировочным средствам (при необходимости);
9. Специальные требования;
10. Требования к документации;
11. Этапы выполнения разработки;
12. Порядок выполнения и приёмки этапов разработки.

Заметим, что в зависимости от особенностей разрабатываемого (модернизируемого) РЭС, условий его применения и эксплуатации, в ТЗ допускается *вводить другие разделы* или *исключать разделы, в которых нет необходимости*. Конкретное количество и содержание разделов *устанавливает заказчик*.

Каждый раздел может включать несколько подразделов, причём требования в каждом подразделе располагают в зависимости от степени их важности, характера и формулируют так, чтобы исключить возможность их неоднозначного толкования.

Номинальные значения величин, определяющих количественные требования, характеристики (параметры), нормы и показатели изделия и условий его применения, приводят с допустимыми отклонениями. В случае указания наибольших и (или) наименьших допустимых значений величин должны быть указаны пределы допускаемых погрешностей их измерений (оценки).

Проанализируем кратко примерное содержание отдельных пунктов, которые обычно включают в ТЗ.

1.2.1 Наименование, шифр разработки, основание, исполнитель и сроки выполнения

Здесь указывают:

- **Наименование изделия.**

- **Шифр разработки** - условное обозначение изделия (записывают на титульном листе и в основной надписи графических документов), имеющего следующую структуру кода классификационной характеристики:



Код организации-разработчика присваивается заказчиком по кодификатору организации-разработчика. Например, для ТУСУР по ОС ТУСУР 01-2013 [3].

Код классификационной характеристики следует назначать по **Классификатору изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения** (Классификатору ЕСКД ОК 012-93) [4].

Порядковый регистрационный номер – трёхзначный цифровой код (от 1 до 999).

Вид документа – по шифрам документов, установленных в ГОСТ 2.701-2008. Например, **ПЗ** (пояснительная записка), **ЭЗ** (схема электрическая принципиальная), **СБ** (сборочный чертёж) и т.д.

- **Полное наименование документа**, на основании которого должна выполняться разработка, номер и дату его утверждения. Например, ссылка на **ПРИЛОЖЕНИЕ А**. Бланк индивидуального задания **на курсовой или дипломный проект**.

- **Исполнитель** (Фамилия, имя и отчество).

- **Сроки выполнения разработки.**

1.2.2 Цель выполнения разработки, наименование и обозначение изделия

- **Цель выполнения разработки** - устанавливают подлежащие достижению обобщённые результаты выполнения разработки.

- **Полное наименование, обозначение** (если имеется).

Назначение и область применения – указывается краткая характеристика эксплуатационного и функционального назначения и области применения создаваемого (модернизируемого) изделия. При необходимости указывается место создаваемого изделия в системе. Могут быть также приведены характеристики объекта установки (уровень пользователя, его возраст, место размещения и т.п.).

В разделе также могут быть указаны (при их наличии) научно-технические достижения и изобретения, на основе которых ведётся разработка изделия.

1.2.3 Технические требования к изделию

В этом разделе указывают требования, характеристики, нормы, показатели и другие параметры, определяющие назначение, эксплуатационные характеристики, условия эксплуатации и применения изделия. Раздел может состоять из следующих подразделов:

- **Состав изделия** (перечисляют основные составные части изделия (при необходимости их назначение). Окончательное уточнение состава изделия допускается при выполнении этапа разработки эскизного или технического проекта.

- **Требования назначения** - характеристики (параметры), обеспечивающие выполнение изделием своих функций в заданных условиях применения, в том числе с учётом аварийных ситуаций.

- **Основные технические характеристики** (параметры), которые влияют на выполнение возложенных на проектируемое РЭС задач (характеристики входных и выходных сигналов, диапазон рабочих частот, мощность, чувствительность, параметры электропитания, рабочие напряжения и токи в схеме, коэффициент полезного действия, точность измерения и т. д.).

- **Требования к конструкции** РЭС - устанавливают совокупность требований к конструкции создаваемого изделия, соблюдение которых обеспечивает соответствие изделия его целевому назначению и заданному уровню качества в процессе создания, производства и эксплуатации, указывая:

- **Основные конструктивные требования** (габаритные, установочные и присоединительные размеры, способы крепления, уровень пользователя, количество органов управления, настройки, контроля, внешних соединителей и т.п.);

- **Вид исполнения** (форма конструкции, контейнерное, блочное, моноблочное и др.);

- **Требования к конструктивному оформлению** РЭС, к разработке его в качестве базового и приспособленности конструкции изделия к дальнейшей модернизации;

- **Требования комплексной миниатюризации** РЭС (использовать компоненты с выводами или для поверхностного монтажа);

- **Требования к порядку заимствования** ранее разработанных составных частей изделия;

- **Массу изделия** (при необходимости) и ограничения по массе отдельных частей изделия и др.

- **Требования к надёжности** определяют в соответствии с порядком и правилами, регламентированными ГОСТ 27.003. Устанавливают номенклатуру и количественные значения показателей надёжности в соответствии с «ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения», критерии отказов, применительно к которым устанавливают показатели надёжности, общие требования к методам оценки (контроля) соответствия изделия заданным требованиям надёжности на различных этапах жизненного цикла и мерах по её повышению.

Таблица 1.1 знакомит с одним из основных показателей надёжности - ориентировочным средним временем наработки на отказ T_0 .

Таблица 1.1 – Рекомендуемое ориентировочное среднее время наработки на отказ для различных групп РЭС [5,6,7]

Группа РЭС по ГОСТ 16019	Количество ЭРЭ в изделии (включая ИМС), шт.	Средняя наработка на отказ T_0 , ч, при содержании ИМС к общему числу ЭРЭ		
		$\leq 5\%$	$> 5\%$	$> 95\%$
С1, С2	≤ 10	20000	30000	40000
	11 .. 20	10000	18000	23000
	21 .. 30	7500	12000	16000
	31 .. 50	5000	9000	13500
	51 .. 70	4000	7500	9500
	71 .. 100	3500	5500	8000
	101 .. 200	3500	5500	8000
	201 .. 1000	2500	3500	5000
	1001 .. 2000	2000	3000	4500
	2001 .. 3000	1500	2500	4000
	3001 .. 4000	1000	2000	3500
	> 4000	700	1500	3000
В3 - В5	≤ 700	2000	3000	5000
	701 .. 1000	1500	2500	4500
	1001 .. 2000	1000	2300	4000
	2001 .. 3000	700	2000	3500
	> 3000	500	1400	3000
Н6, Н7	≤ 200	3000	4000	6000
	201 .. 300	2500	3500	5500
	301 .. 700	2000	3000	5000
	701 .. 1000	1500	2500	4500
	> 1000	1000	2000	4000

Кроме этого показателя, в ТЗ могут быть заданы вероятность безотказной работы $p(t)$ в пределах заданной наработки на отказ T_0 , средний срок службы T_c и среднее время восстановления T_v и др. Эти параметры зависят от вида и назначения РЭС, общего количества электрорадиоэлементов (ЭРЭ), способов их резервирования и режимов работы, количества интегральных микросхем (ИМС), типов и количества различных конструктивных крепёжных элементов.

– **Требования эргономики, обитаемости и технической эстетики** устанавливают эргономические требования к организации и средствам деятельности человека-оператора, требования к изделию по обитаемости (к условиям жизни и деятельности, обеспечивающим сохранение здоровья и работоспособности персонала), а также требования технической эстетики, определяющие композиционную целостность, информационную выразительность, рациональность формы и культуру производственного исполнения создаваемого изделия (варианты цветовых решений, расстояние от пользователя до устройства, условия его работы т.д.)

– **Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта** устанавливают требования к рабочим и предельным условиям эксплуатации, во

время и после которых изделие не должно разрушаться и сохранять свои параметры, требования к численности, составу и квалификации обслуживающего персонала, требования к видам (календарное, по ресурсу, по техническому состоянию), периодичности и объёму технического обслуживания, а также к удобству ремонта и к условиям хранения.

Разрабатываемая конструкция должна обеспечить надёжное функционирование РЭС во всех диапазонах планируемых дестабилизирующих факторов. Таблица 1.2 представляет типичные характеристики условий эксплуатации различные видов РЭС. В зависимости от вида и назначения РЭС указывают предельные характеристики условий эксплуатации, при которых обеспечивается качественное применение РЭС с заданными техническими показателями:

- допустимые воздействия климатических условий (температуры, влажности, атмосферного давления, циклические воздействия инея и росы, радиации, агрессивных сред, пыли и т.п.);
- для тропических условий эксплуатации дополнительно указывают биологические факторы - влияние плесени, насекомых и грызунов;
- допустимые воздействия механических нагрузок (вибрационных, ударных, скручивающих, ветровых и др.);
- колебания напряжения сети, допустимый перегрев и др.

Значения показателей из Таблицы 1.2 могут быть исправлены после уточнённого анализа дестабилизирующих факторов на этапе технических предложений.

Таблица 1.2 – Типичные характеристики условий эксплуатации различные видов РЭС [8,5].

Вид воздействия	Параметры воздействия	Категории РЭС				
		Стационарные РЭС	РЭС на наземном транспорте	РЭС на морских судах	Авиационные РЭС	Космические РЭС
1. Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, мм	2 - 10	2 - 10	2 - 50	10 - 12	2 - 10
	Диапазон частот, Гц	1 - 500	1 - 500	1 - 2000	1 - 2000	1 - 2000
2. Случайная широкополосная вибрация	Спектральная плотность виброускорения, м/с ²	-	30 - 50	-		5 - 50
	Диапазон частот, Гц	-	1 - 500	-	1 - 2000	1 - 2000
3. Акустический шум	Диапазон частот, Гц	50 - 10000	50 - 10000	50 - 10000	50 - 10000	50 - 10000
	Уровень звукового давления, дБ	130	до 170	до 150	до 150	170
4. Механический удар одиночного действия	Пиковое ускорение, м/с ²	75 - 3000	75 - 3000	150	до 20	до 150
	Длительность ударного ускорения, мс	0,2 - 15	–	0,5 - 2,0	0,5 - 15	1 - 6
5. Механический удар многократного действия	Пиковое ускорение, м/с ²	10	10	6 - 15	до 15	до 40
	Длительность ударного ускорения, мс	1 - 15	1 - 15	5 - 20	до 15	2 - 15

Вид воздействия	Параметры воздействия	Категории РЭС					
		Стационарные РЭС	РЭС на наземном транспорте	РЭС на морских судах	Авиационные РЭС	Космические РЭС	
6. Сейсмический удар взрыва	Ускорение, m/c^2	20	120	-	75	-	
	Длительность ударного ускорения, ms	50	0,01	-	-	-	
7. Линейное ускорение	Значение ускорения, m/c^2	-	-	до 5	до 15	до 20	
8. Атмосферное пониженное давление	При эксплуатации, kPa	60	-	-	0.66	0.66	
	При транспортировании авиа, kPa	12	12	12	-	-	
9. Изменение атмосферного давления	Диапазон изменения, kPa	-	-	-	75 - 40	-	
10. Температура окружающей среды	пониженная	рабочая, $^{\circ}C$	-50	-50	до -40	до -60	-50
		предельная, $^{\circ}C$	-65	-65	до -50	до -65	-65
	повышенная	рабочая, $^{\circ}C$	50	50 - 125	35 - 100	до 70	60
		предельная, $^{\circ}C$	60	60 - 125	70 - 120	-	85
11. Влажность	Пониженная, %	20	20	-	20	20	
	Повышенная, %	100	100	100	100	100	
12. Качка	Амплитуда качки, $град.$	-	-	30 - 45	-	-	
	Период, c	-	-	7 - 16	-	-	
13. Гидростатическое давление	$кгс/см^2$	-	-	от 12 - 16	-	-	
14. Солнечное излучение	Интегральная плотность потока, $Вт/м^2$	1120	1120	1120	-	-	
	Плотность ультрафиолетового излучения, $Вт/м^2$	68	68	68	-	-	
15. Воздушный поток	Среднее значение скорости, $м/с$	-	30	70	-	-	
16. Агрессивные среды	Сернистый газ, $мг/м^3$	2,0	2,0	2,0	2,0	-	
	Сероводород, $мг/м^3$	1,0	1,0	1,0	1,0	-	
	Аммиак, $мг/м^3$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Двуокись азота, $мг/м^3$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
	Озон, $мг/м^3$	0,1	0,1	-	0,1	-	

– Требования к стандартизации и унификации устанавливают количественные требования стандартизации и унификации, зависящие от серийности выпуска изделий.

– Требования электромагнитной совместимости - устанавливают требования, обеспечивающие их электромагнитную совместимость, помехоустойчивость, а также требования, обеспечивающие защиту от электромагнитных излучений естественного и искусственного происхождения. в том числе устойчивость функционирования РЭС в условиях изменения среды распространения таких излучений в соответствии с ГОСТ 28934-91 [9].

– **Требования безопасности** - характеризуют конструктивно-технические особенности создаваемого РЭС, обеспечивающие безопасность на всех стадиях жизненного цикла изделия (охрану труда и здоровья при проектировании, изготовлении, эксплуатации и обслуживании, пожарной и электробезопасности, взрывозащищенности, от движущихся частей, теплового (светового) воздействия, высокочастотных, радиационных, электромагнитных полей, ядовитых паров и газов, вибраций, акустических шумов и др.). Устанавливают также требования по экологической безопасности и утилизации, уничтожению и (или) захоронению изделия, отходов от него и удалению опасных отходов, требования по охране окружающей среды в соответствии с надлежащими стандартами.

– **Требования технологичности** (ГОСТ 14.201 – 83 [10]) устанавливают требования к производственной, эксплуатационной и ремонтной технологичности, обеспечивающие достижение заданных показателей качества создаваемого изделия при минимальных затратах на его изготовление, техническое обслуживание и ремонт, а также требования технологической рациональности системных, схемных и конструктивных решений.

При необходимости в подразделе указываются технологические ограничения (учёт особенностей конкретного производства, требования применения унифицированного и типового оборудования, технологической оснастки в процессе производства изделия, а также в процессе его эксплуатации и ремонта, требования по элементной базе, материалам, серийность выпуска изделий и требования к контролепригодности).

При необходимости в подразделе устанавливают требования технологической независимости изделий, создаваемых с применением *электронных компонентов иностранного производства*, которая должна обеспечиваться в изделиях единичного производства, закупкой необходимого количества электронных компонентов иностранного производства с целью создания страховых запасов, а в изделиях серийного производства, а также условиях западных санкций - *заменой электронных компонентов иностранного производства на отечественные аналоги*.

1.2.4 Техничко-экономические требования

В этом разделе устанавливают требования, выполнение которых обеспечит разработку изделия, отвечающего условию экономической целесообразности его создания.

1.2.5 Требования к видам обеспечения

В разделе устанавливают требования и нормы по видам обеспечения изделия для достижения заданной эффективности в процессе его применения и эксплуатации. Он должен состоять из подразделов:

- требования к нормативно-техническому обеспечению;
- требования к метрологическому обеспечению;
- требования к диагностическому обеспечению;
- требования к математическому, программному и информационно-лингвистическому обеспечению.

1.2.6 Требования к консервации, упаковке и маркировке

В этом разделе устанавливают требования к консервации с учётом сроков и условий хранения изделия, требования к упаковке в зависимости от сроков и условий хранения и перевозки, требования к маркировке (содержание основных маркировок - наименование изделия, условное обозначение, порядковый номер, дата изготовления) и способ её нанесения на изделие и упаковку.

1.2.7 Требования к документации

В этом разделе устанавливают требования к конструкторской документации документам разрабатываемого изделия согласно стандартам ЕСКД ГОСТ 2.001, ГОСТ 2.102 и ГОСТ 2.103 и требования к технологической документации согласно ГОСТ 3.1001, ГОСТ 3.1102 и др.

1.2.8 Этапы выполнения разработки

В этом разделе указывают наименования обязательных этапов и конкретный перечень работ, выполняемых на каждом этапе.

1.2.9 Порядок выполнения и приёмки этапов разработки

Согласовывают методики проведения всех категорий и видов испытаний (последовательность и время действия внешних факторов, параметры, характеризующие эти факторы - температуру, влажность, механические нагрузки и др.). Устанавливают порядок проведения испытаний, а также параметры РЭС, подлежащие контролю до и после испытаний, макетов (моделей) и опытных образцов изделий, необходимых для проведения испытаний, перечень необходимых технических документов, критерии приёмки этапов разработки РЭС.

– способ упаковки и укладки изделия в тару;

1. Экономические требования (для каких потребителей предназначено разрабатываемое РЭС, его новизна и конкурентоспособность, затраты на разработку, производство и эксплуатацию и т.д.).

2. Требования к разработке (стадии и этапы, комплектность документации и порядок её контроля, приёмки и т.д.).

3. Требования к изготовлению включается в ТЗ, если известно конкретное предприятие-изготовитель, особенности технологического оборудования которого могут наложить ограничения на выбор конструктивно-технологических решений при проектировании РЭС и его составных частей.

1.3 Основные требования к оформлению ТЗ

Техническое задание должно быть оформлено в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105 на листах формата А4 по ГОСТ 2.301, без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней.

Основные требования к оформлению ТЗ изложены в [1].

Текст ТЗ должен быть кратким, чётким и однозначным, т.е. не допускать различных толкований. При формировании обязательных требований в тексте следует применять слова «должен», «следует», «необходимо» и производные от них. Каждое требование оформляется в виде отдельного пронумерованного пункта ТЗ.

Статистические параметры задаются с указанием уровня вероятности, которому соответствует данное значение параметра.

В ТЗ должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если в ТЗ принята специфическая терминология, то в конце его должен быть приведён перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями.

Если в ТЗ принята особая система сокращения слов и наименований, то в конце ТЗ приводят перечень принятых сокращений. Небольшое количество сокращений можно расшифровать непосредственно в тексте при первом упоминании, например, нормативно-техническая документация (НТД).

Обозначения и написание единиц: физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-2002 [11].

Ссылки на стандарты (кроме стандартов организаций), технические условия и другие документы допускаются при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования. Ссылаться следует на документ в целом или на его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации не допускаются.

2 Разработка технических предложений

2.1 Анализ технического задания и выбор вариантов конструктивно-технологических решений

Прежде чем приступить к конструкторской разработке РЭС, необходимо провести тщательный анализ и уточнение ТЗ с целью определения возможных вариантов решения поставленной задачи. В ходе расширенного анализа выявляются принципы работы проектируемого РЭС, схемотехнические, конструктивные, эксплуатационные, технологические и другие требования и ограничения. Это позволяет компетентно выбрать способы защиты от дестабилизирующих факторов, вариант исполнения электрического монтажа, элементную базу, необходимые материалы, покрытия и т.п.

2.2 Анализ назначения и условий эксплуатации РЭС

Назначение аппаратуры РЭС и условия эксплуатации оказывают определяющее влияние на конструктивно-технологические решения при проектировании РЭС и однозначно определяют требования к устойчивости, проектируемой РЭС к определённым диапазонам перепадов температур, атмосферного давления, к вибрациям, ударам и т.д. Создаваемая конструкция должна обеспечивать защиту РЭС при эксплуатации от воздействий внешней среды: климатических, механических воздействий, помех и т.п. Если не учитывать воздействие эксплуатационных факторов, то создать надёжное РЭС не удастся.

Заметим, что характер и интенсивность воздействия климатических, механических, радиационных и других факторов на РЭС существенно зависят от места их размещения (наземные, надводные, воздушные, космические, подводные, подземные и комбинированные РЭС), способа эксплуатации: носимые (портативные), переносные (лабораторные, бытовые и т. д.), РЭС устанавливаемые на мобильных и стационарных объектах.

Очевидно, что подходы к проектированию профессиональных и бытовых, гражданских и военных РЭС не должны быть одинаковыми. Поэтому при анализе назначения и условий эксплуатации РЭС вначале следует установить тип аппаратуры: бытовая или специальная.



Для **стационарных РЭС** характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями при отсутствии в процессе эксплуатации механических воздействий. Тем не менее при транспортировке в нерабочем состоянии на такие РЭС действует вибрация, удары, тряска и линейные перегрузки.



Основными требованиями к **бытовым РЭС** являются повышенная технологичность конструкции, обеспечивающая малую стоимость, небольшие массы и габариты, простота эксплуатации, повышенные меры безопасности.

При разработке бытовых РЭС очень важно гармоничное внешнее оформление конструкции, на что решающее влияние оказывают вкусы современных потребителей в области технической эстетики, дизайна, знание технологических художественных возможностей производства, социальных проблем и т.п.



При разработке конструкций **измерительных РЭС** важнейшим показателем качества конструкции является обеспечение стабильности и разрешающей способности измерений от дестабилизирующих факторов.



Для **носимых РЭС** наиболее острыми являются требования минимальной массы и габаритов. Важнейшими требованиями к таким РЭС являются также устойчивость к случайным значительным ударам, изменению температуры, к конденсации росы, воздействию инея, дождя, пыли.

Особенностью носимых РЭС является значительная зависимость конструкции от габаритов и массы автономных источников питания.



К группе **возимых** относятся РЭС, установленные на всех транспортных средствах, специальных автомобилях и военной технике, перемещающихся по поверхности Земли на колёсном, либо на гусеничном ходу, включая бронетехнику, передвижные пусковые установки и т.п.



Для возимых РЭС характерна работа в условиях вибраций, ударов, пыли, избыточной влажности. Они должны иметь ограниченные габариты и массу, обеспечивать простоту и надёжность электрических соединений, устойчивость к ударам и вибрациям, к возникновению инея и росы, а также ограниченную мощность потребления.



В конструкциях, транспортируемых РЭС нужно обязательно учитывать габариты и форму помещения (кузова, отсека) объекта установки РЭС, а также действенность системы виброизоляции.





Для **морских РЭС** характерна огромная влажность при повышенной температуре и солевом тумане, непрерывная вибрация от двигателей, ударные перегрузки и линейных ускорения (стрельба, шторм и т.п.), акустические, магнитные и радиационные воздействия.

Морские РЭС должны разрабатываться в тропическом исполнении, предусматривать коррозионную и плеснестойкость, водо- и брызгозащищённость, защищённость от высокочастотных и низкочастотных электромагнитных полей.

Особенностями **бортовых (самолётных, вертолётных, космических и ракетных) РЭС** являются постоянный рост функциональной сложности, минимизация габаритов и массы, работа в условиях разряженной атмосферы, радиации, высокая надёжность.



Бортовые РЭС испытывают значительные вибрационные, ударные и линейные перегрузки, а при расположении вне гермоотсеков - воздействие перепадов температур и давлений, тепловых ударов.

При разработке конструкции бортовых РЭС специального назначения широко используют унифицированные типовые конструкции и конструкторские решения, определённые отраслевыми стандартами.



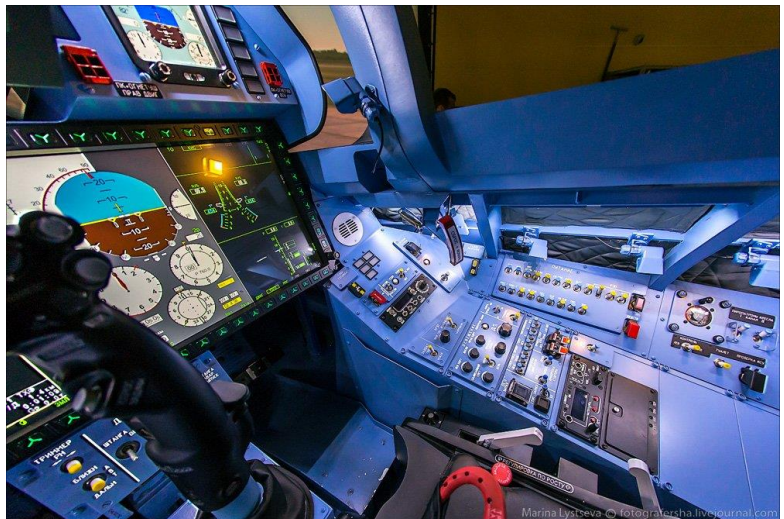
Бортовая аппаратура должна обладать очень высокой надёжностью, многократно резервирована, особенно если это относится к жизни человека. Во время полёта как правило нет возможности заниматься ремонтом РЭС, поэтому необходима их тщательная предполётная проверка, а это вызывает необходимость конструктивного обеспечения оперативной и эффективной контролепригодности и ремонтпригодности.

Кроме перечисленных выше общих требований к бортовым РЭС, к космическим и ракетным РЭС дополнительно предъявляются особо жёсткие требования по массе и габаритам, радиационной защите и защите от космических излучений, защите от совместного

действия вибрационных и линейных перегрузок во время старта, электромагнитной совместимости различных РЭС в ограниченном объёме, чрезвычайно высокой надёжности, высокой ремонтпригодности в предстартовый период, учёта специфики больших высот и невесомости.

Особые требования предъявляют к взрывозащищенным РЭС, эксплуатируемым во взрывоопасной среде. Взрывоопасная среда может образоваться из смеси некоторых газообразных веществ, а также при высокой концентрации горючих веществ в воздухе в виде пыли (угольная пыль в шахтах и на обогатительных фабриках, мучная и сахарная пыль на соответствующих предприятиях и т.д.). Общие требования на взрывозащищённое электрооборудование установлены ГОСТ Р 51330.0-99 (МЭК 60079-0-98). В ТЗ на разработку РЭС в обязательном порядке должно быть включено требование о взрывозащищённом исполнении. Конструктор обязан исключить любую возможность инициирования взрыва среды разрабатываемым РЭС применением специальных схемотехнических и конструктивных решений (герметизация конструкции корпуса, электрических соединений и устройств заделки кабелей). РЭС во взрывобезопасном исполнении должны проходить обязательные испытания на взрывобезопасность в соответствии с действующими стандартами.

Многие виды РЭС имеют большое количество органов управления и индикации, и поэтому при разработке их конструкции следует обязательно учитывать требования эргономики [12]. Это особенно важно, если необходимо оперативное управление летательным объектом.



При создании РЭС высокой сложности в виде единой сборочной единицы, массогабаритные показатели составляющих его элементов должны быть не более предельно допустимых с точки зрения физических возможностей человека (не более 150 .. 200 кг).

Характерным примером ограничений размеров РЭС как объекта установки является, например, требование обеспечения транспортировки корабельных РЭС через люки (600 x 600 мм).

2.3 Анализ схемотехнических требований и ограничений

На конструкцию РЭС громадное влияние оказывают назначение и режимы функционирования электрорадиоэлементов электрических схем.

Анализ электрических схем и карт электрических режимов работы ЭРЭ, выполненных с помощью схемотехнических САПР [13] позволяет найти решение следующих задач.

1. Выделить функциональные узлы и устройства, которым в последующем можно придать конструктивную обособленность.



Рис. 2.2 – Некоторые виды переменных резисторов



Рис. 2.3 - Некоторые виды конденсаторов переменной ёмкости

Часто подобные элементы на печатной плате не размещают, а выносят на лицевую или заднюю панель корпуса РЭС. Туда же обычно выносят элементы включения-выключения питания, входные и выходные гнезда, элементы индикации, регистрирующие приборы и другие элементы, которые нецелесообразно размещать на печатной плате.

Заметим, что для таких ЭРЭ сразу же надлежит выбрать и оптимальный способ их подсоединения - с помощью разъёма или без него (например, с помощью жгута, припаиваемого к монтажным стойкам или клеммам печатной платы).

Пайка соединительных проводов к контактным площадкам печатной платы дешева, но не допускает многократной перепайки из-за возможного отслоения печатного проводника от платы и потому менее ремонтпригодна. Такой способ рекомендуется для мелкосерийных изделий с небольшим количеством внешних соединений.



Использование разъёмов повышает ремонтпригодность РЭС, обеспечивая быструю замену и соединение функциональных узлов, блоков и других изделий. Однако они занимают больше места на плате, их стоимость намного выше. Высока вероятность, что при неаккуратном использовании разъём может скоро повредиться.



Для подсоединения к плате электрических проводников с разными свойствами и разного диаметра без пайки очень удобны специальные разъёмы – винтовые (или пружинные) **соединительные клеммники** (Рис. 2.4).

— Для точной настройки заданных параметров радио- и электронных устройств при настройке после монтажа или в процессе ремонта или проверки используют пассивные электронные компоненты, называемые **подстроечными**. Подобные регулировочные элементы также удобно применять, чтобы не снижать надёжность печатного монтажа и ЭРЭ с подбираемыми параметрами из-за многократной перепайки при настройке и ремонте.

Для регулировки параметров подстроечных резисторов (Рис. 2.5), конденсаторов (Рис. 2.6) и катушек индуктивности (Рис. 2.7), которые изменяют относительно редко, обычно употребляют отвёртки, ключи и т.п. При установке таких ЭРЭ разной конструкции на печатную плату убедитесь - не мешают ли рядом стоящие элементы (или корпус изделия) настройке параметра?

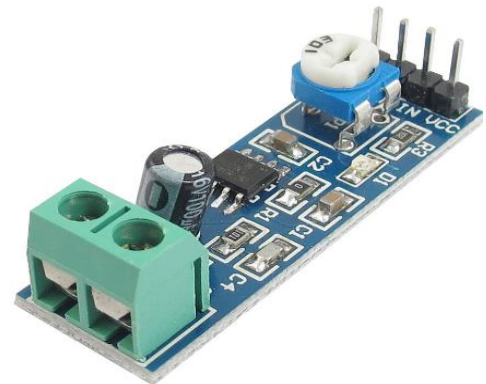


Рис. 2.4 - Использование клеммников и подстроечных резисторов



Рис. 2.5 - Подстроечные резисторы



Рис. 2.6 - Подстроечные конденсаторы

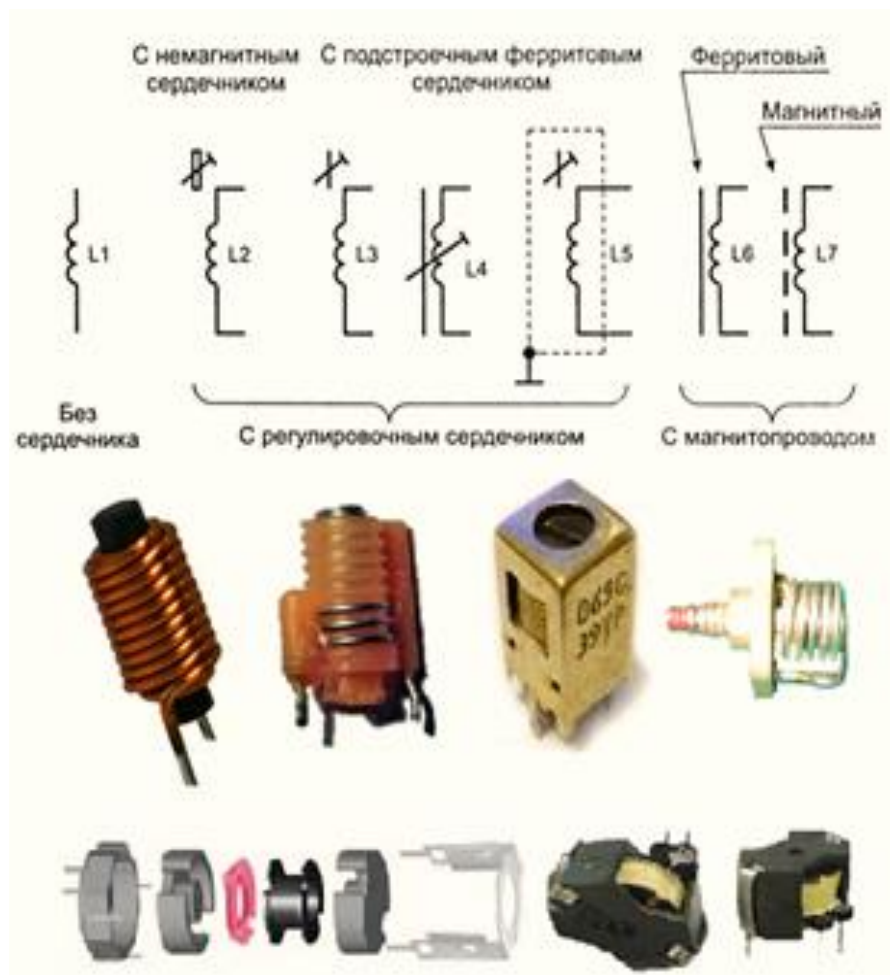


Рис. 2.7 - Катушки индуктивности с подстроечными сердечниками

3. Проанализировать функциональное назначение различных электрических цепей. Выявить группы цепей, к выполнению которых предъявляются особые требования и сформулировать требования к их проектированию.

Разделение электрических цепей на родственные группы особенно важно для обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотных РЭС, при проектировании многослойных ПП, а также аппаратуры с малым уровнем входных токов.

Разумно выделить группы цепей со следующими характеристиками:

– **Цепи с переменными, пульсирующими или импульсными токами.** Особенно важно это для цепей с электролитическими² конденсаторами (Рис. 2.8), так как при работе в цепях как с пульсирующим, так и с постоянным напряжением на их обкладках должно поддерживаться соответствующее полярности выводов не изменяющее знака допустимое напряжение. Высокие токи утечки, большое эквивалентное последовательное сопротивление и индуктивность ограничивают возможность использования их на высоких частотах, и потому в преобразовательной силовой технике их приходится шунтировать неполярными конденсаторами.



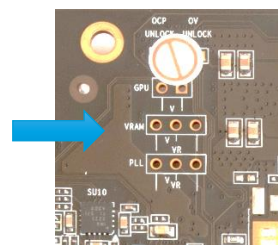
Рис. 2.8 – Конденсаторы с оксидным диэлектриком

– **Цепи силовые потенциальные (питания и земли) - от источников питания - и цепи нагрузки.** Обычно такие цепи характеризуются прохождением значительных токов и поперечное сечение проводника (его ширина на ПП) уточняется расчётом.

– **Слаботочные сигнальные и управляющие цепи** с аналоговыми и импульсными сигналами – ширина проводников может быть минимальной и определяется классом точности изготовления печатной платы.

² **Электролитические конденсаторы (конденсаторы с оксидными диэлектриками)** недорогие, характеризуются огромным отношением ёмкости к объёму и не очень высокой надёжностью. Имеют низкую температурную стабильность и значительные отклонения параметров от номинала при её изменении. Включение конденсатора на обратное к рабочей полярности напряжение, превышении допустимых параметров и/или перегреве, приводит к увеличению тока утечки между обкладками, резкому ухудшению качества, и при достаточной мощности цепи конденсатор может даже взорваться.

– Цепи, используемые для проведения внутрисхемного контроля электрических параметров и требующие введения в топологию проводящего рисунка контрольных контактных площадок для подключения измерительных приборов.



– **Высокочастотные цепи**, проектирование которых требует учёта **электромагнитной совместимости**³.

В принципе помехи могут приходиться от источника помех к приёмнику через электрические, магнитные и электромагнитное поля. Определённые проводники могут играть роль как приёмной, так и передающей антенны. Для высокочастотных цепей важны малые паразитные параметры (ёмкости и индуктивности проводников, выводов и т.п.) и малая задержка сигналов, что достигается уменьшением длины подобных цепей.

При разработке конструкций РЭС, работающих на высоких и сверхвысоких частотах, необходимо учитывать конструкторские и технологические факторы, от которых зависят электромагнитная совместимость, потери, добротность и нестабильность волнового сопротивления микрополосковых линий и т.п. Особое внимание должно быть уделено экранированию проводов и кабелей, а также обеспечению электрогерметичности волноводов и экранов.

Для обеспечения электромагнитной совместимости устройств также необходимо ослабить связи между источниками помех и приёмниками помех до допустимых значений, что достигается их пространственным разнесением.

Цепи и ЭРЭ с большой амплитудой высокочастотных сигналов для снижения уровня помех возможно потребуют **экранирования**⁴.

Помехи нередко распространяются через общие цепи, например, цепи питания. В таких случаях помогает установка помехоподавляющих фильтров в общие цепи источников и приёмников помех.

Цепи с высоким напряжением характеризуются повышенной вероятностью пробоя между печатными проводниками, что вынуждает увеличивать зазоры между ними.

В результате выполненного анализа должны быть сформирована схема электрическая принципиальная печатного узла, состоящей только из тех ЭРЭ, которые следует разместить на печатной плате функционального узла.

³ **Электромагнитная совместимость (ЭМС)** — способность РЭС одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим РЭС.

⁴ **Экранирование** — локализация электромагнитной энергии в определённом пространстве за счёт ограничения распространения её всеми возможными способами.

2.4 Анализ способов охлаждения

2.4.1 Тепловые режимы РЭС

Только несколько процентов энергии, подводимой от источника электропитания, расходуется в РЭС на полезную работу. Остальная часть энергии выделяется в виде тепловой энергии. В большинстве случаев увеличение тепловой нагрузки на РЭС приводит к значительному снижению надёжности работы. Поэтому проблема отвода избыточного тепла является крайне актуальной.

Тепловой режим РЭС характеризуется температурным полем - пространственно-временным распределением температуры внутри корпуса аппаратуры. На тепловой режим РЭС влияют как внешняя температура окружающей среды, так и тепло, выделяемое радиоэлементами самого РЭС.

Тепловой режим ЭРЭ является одним из важнейших факторов, ограничивающих уменьшение габаритов РЭС. Размещение большого числа ЭРЭ на небольшой площади приводит к интенсивному нагреву РЭС, что требует отвода тепла (охлаждения). Чем меньше габариты РЭС и выше требования к его производительности и надёжности, тем актуальнее для него проблема эффективного охлаждения.

В зависимости от стабильности во времени тепловой режим может быть либо *стационарным*, либо *нестационарным*. **Стационарный режим** характеризуется неизменным во времени температурным полем. Такой режим наблюдается в тех случаях, когда собственная теплоёмкость РЭС соизмерима с количеством теплоты, выделяемой при работе. У **нестационарного режима** температурное поле изменяется от времени (например, при включении РЭС, при одиночных и кратковременно повторяющихся тепловых нагрузках).

Перенос тепловой энергии из от нагретой части РЭС в холодную или в окружающую среду называется **теплообменом**. Чем больше разность температур между отдельными частями РЭС и окружающей средой, тем теплообмен происходит интенсивнее.

Для характеристики процесса распространения теплоты вводят понятие *тепловой поток* P [Вт]. Это количество теплоты Q [Дж], проходящей за время τ [с] через некоторую поверхность в направлении нормали к ней:

$$P = \frac{Q}{\tau}. \quad (2.1)$$

Если количество переданной теплоты Q отнести к площади поверхности S [м²] и времени τ , то получим g [Вт/м²] - плотность теплового потока (удельный тепловой поток):

$$g = \frac{Q}{S \cdot \tau} = \frac{P}{S}. \quad (2.2)$$

Теплообмен может происходить за счёт *теплопроводности*, *конвекции* и *теплого излучения* [18,20,21].

Конвекция - перенос теплоты в жидкостях, газах или сыпучих средах потоками вещества. При *естественной конвекции* нижние слои вещества нагреваются, расширяются, их плотность уменьшается, они становятся легче и под действием выталкивающей силы Архимеда начинают всплывать. Верхние слои, напротив, остывают, становятся тяжелее и

опускаются вниз, после чего процесс повторяется снова и снова. Возникающие локальные течения эффективно уносят тепло из нагретой зоны.

Для увеличения интенсивности теплоотвода с помощью конвекции корпуса РЭС либо перфорируют, либо с помощью рёбер увеличивают площадь охлаждения (Рис. 2.9).



Рис. 2.9 - Виды корпусов РЭС с интенсивным тепловыделением:
а) - с перфорацией стенок; б) - с оребрением стенок

Введение вентиляционных отверстий при их разумном расположении снижает перегревы внутри блока РЭС примерно на 20% [22].

Теплоотдача конвекцией определяется законом Ньютона:

$$\Delta P_k = \alpha_k \cdot S_k \cdot \Delta \tau = \frac{\Delta \tau}{R_{Tk}}, \quad (2.3)$$

где α – коэффициент теплопередачи конвекцией;

R_{Tk} - тепловое сопротивление конвекции, °С/Вт.

S_k - площадь тепловыделяющей поверхности, см².

Если естественная конвекция недостаточно эффективна, то применяют *вынужденную* (принудительную) *конвекцию*, когда перемещение вещества обусловлено действием лопастей вентиляторов, насосов и т.п.

Теплопроводность (кондукция) требует непосредственного физического контакта между соприкасающимися телами и *не сопровождается переносом вещества*. Перенос энергии от более нагретых элементов, узлов и блоков РЭС к менее нагретым происходит за счёт теплового движения и взаимодействия составляющих его структурных частиц - молекул, атомов, свободных электронов. Кондукция приводит к выравниванию температуры тела. Передача тепла через однородный в тепловом отношении слой материала характеризуется уравнением Фурье в интегральной форме (и в дифференциальной форме, если слой неоднородный):

$$\Delta P = \frac{S_T \cdot \Delta \tau}{\rho_T \cdot \delta} = \frac{\Delta \tau}{R_T}, \quad (2.4)$$

где ρ_T - удельное тепловое сопротивление материала, °С·см/Вт;

$\Delta \tau$ - перепад температур в слое, °С;

δ - толщина слоя, см;

S_T - площадь поверхности слоя, см²;

ΔP - передаваемая мощность, Вт;

R_T - тепловое сопротивление слоя, °С/Вт.

Тепловое излучение (излучения тепла, лучеиспускание) происходит за счёт превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия) и не сопровождается переносом вещества. Теплоотдача с поверхности нагретого тела в окружающее пространство излучением зависит от температуры тела и окружающей среды, а также от свойств поверхности (от степени черноты и шероховатости поверхности). Количество тепла (Вт), переданного излучением, определяется законом Стефана-Больцмана:

$$\Delta P_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \cdot S_{\text{л}} \cdot \Delta \tau = \frac{\Delta \tau}{R_{\text{T}}} \quad (2.5)$$

где: $\alpha_{\text{л}}$ - коэффициент излучения;

$S_{\text{л}}$ - поверхность излучения, см².

При нормальных климатических условиях и естественном охлаждении в конструкциях РЭС примерно 70% тепла отводится за счёт конвекции, приблизительно 20% - за счёт излучения и около 10% - за счёт теплопроводности [18]. Другими словами, основную роль в обеспечении теплового режима РЭС в большинстве случаев играет теплообмен с помощью конвекции.

Заметим, что с увеличением высоты использования РЭС над поверхностью Земли (горы, самолёты и космические аппараты) плотность и давление воздуха резко уменьшаются и конвективный теплообмен перестаёт работать. При этом охлаждение РЭС становится возможным лишь за счёт теплового излучения.

2.4.2 Характеристика систем охлаждения РЭС

Эксплуатационная надёжность разрабатываемой конструкции РЭС обеспечивается принятием таких конструктивных решений, при которых температура всех используемых элементов не будет превышать допустимых значений в пределах, предусмотренных для них ТУ.

Способ охлаждения и структуру *системы охлаждения*⁵ РЭС следует выбрать ещё на ранней стадии проектирования, так как они во многом определяют конструкцию РЭС. Если неудачное решение этой задачи обнаруживается на поздних этапах проектирования, то это может привести к неоправданным экономическим затратам на повторное проектирование.

При **естественном воздушном охлаждении** выделяющаяся в РЭС тепло конвекцией, теплопроводностью и излучением передаётся его корпусу и таким же путём рассеивается в окружающую среду. Метод естественного воздушного охлаждения не требует дополнительных затрат энергии, прост, высоконадёжен, полностью бесшумен и имеет небольшую стоимость. Недостаток — небольшая эффективность охлаждения и громоздкость: на 1 Вт мощности требуется поверхность охлаждения 25 – 30 см². Чтобы необоснованно не увеличивать габариты РЭС, этот способ разумно использовать лишь при небольших удельных мощностях рассеивания тепла g ($g < 0,2$ Вт/см²).

Поверхность полупроводникового кристалла слишком мала, чтобы конвекции было достаточно для его охлаждения. Наиболее распространённый способ увеличения площади

⁵ **Система охлаждения** – совокупность устройств и конструктивных элементов, используемых для уменьшения локальных и общих перегревов.

охлаждения ЭРЭ — применение пассивных теплоотводов на основе алюминиевых или медных ребристых и игольчатых (штыревых) радиаторов, обладающих высокой теплопроводностью (200...400 Вт/(м·К) (Таблица 2.1). При закреплении корпуса ЭРЭ на радиаторе площадь поверхности охлаждения многократно увеличивается и, следовательно, тепловое сопротивление радиатор-среда уменьшается. От корпуса ЭРЭ к металлическому радиатору тепло передаётся за счёт теплопроводности, а от радиатора теплоотдача осуществляется уже конвективным и лучистым теплообменом.

Таблица 2.1 - Конструкции радиаторов охлаждения ЭРЭ

Игольчатые радиаторы	
Ребристые радиаторы	

Для естественной конвекции лучшей считается игольчатая конструкция, позволяющая увеличить эффективность охлаждения иногда на 100% при одинаковых размерах с ребристыми. Круглые штыри позволяют отводить тепловой поток во всех направлениях.

Тепловой контакт. Даже между хорошо обработанными поверхностями есть воздушные зазоры. Так как воздух очень плохо проводит тепло, то передача тепла между поверхностями ЭРЭ и радиатора затруднена. Для уменьшения теплового сопротивления между соприкасающимися достаточно шероховатыми поверхностями радиатора и ЭРЭ используется *теплопроводная паста* (термопаста) — многокомпонентное пластичное вещество со значительно более высокой теплопроводностью, чем воздух.

Перспективным направлением является замена термопаст на резиноподобные термоэластичные полимеры с высокой теплопроводностью [23], из которых изготавливаются тонкие пластины (прокладки). Они размещаются взамен традиционных термопаст и снижают тепловое сопротивление системы охлаждения. Прокладки из термопластичных полимеров технологичны, дешевле и долговечнее большинства термопаст. К тому же из них легко могут быть отлиты сложные 3D-изделия, эффективно «выбирающие» воздушные зазоры в трёх измерениях.

Вместо алюминия и меди в системах охлаждения в последнее время предлагается применять в качестве полноценной замены теплорассеивающие пластмассы (полимерные композиты) с теплопроводностью в 5...10 Вт/(м·К) [23]. Многократное повышение теплопроводности стало возможным за счёт использования наполнителей с высокой теплопроводностью (до 200 Вт/(м·К)), подбора специальных технологических добавок, специализированного технологического оборудования для высокого и сверхвысокого наполнения пластмасс. Подобным радиаторам для повышения площади теплоотдачи нетрудно придать сложную форму. Кроме того, у них отсутствует «антенный эффект», характерный для алюминиевых радиаторов. Изделия специальной техники с такими радиаторами имеют гораздо более низкий уровень радиозаметности, и с них существенно затруднён несанкционированный сбор информации.

Стоимость изделий из теплорассеивающих пластмасс в 2-3 раза ниже и в среднем на 40% легче, чем аналогичных деталей из алюминия. Поэтому теплорассеивающие пластмассы могут быть с успехом использованы и для изготовления всевозможных лёгких корпусов, монтажных стоек и других деталей, причём одновременно они являются эффективными теплорассеивающими поверхностями.

Сильно теплонагруженные блоки РЭС могут потребовать применения **систем принудительного охлаждения - кулеров**⁶ [20,21]. Конструкция кулеров зависит от плотности теплового потока. (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Конструкции систем принудительного охлаждения



⁶ **Кулер** (англ. *cooler* - охладитель) - название системы воздушного охлаждения, состоящей из вентилятора и радиатора.

По характеру работы принудительная вентиляция может осуществляться тремя способами.

При **приточной вентиляции** охлаждённый и очищенный воздух *нагнетается* в корпус РЭС. Для отвода нагретого воздуха из РЭС служат вентиляционные отверстия или жалюзи на его корпусе.

При **вытяжной вентиляции** вентилятор *вытягивает* из РЭС нагретый воздух. Холодный воздух поступает в РЭС через вентиляционные отверстия в дне или боковых стенках корпуса аппарата.

При **приточно-вытяжной вентиляции** нагнетание холодного, и вытяжка нагретого воздуха осуществляются двумя различными вентиляторами.

При использовании приточной вентиляции вентилятор работает в более холодном и, следовательно, более плотном воздухе, поэтому она считается эффективнее вытяжной.

Вентиляционные отверстия для входа воздуха в корпус РЭС обычно снабжаются фильтрами для защиты от пыли.

Достоинства систем принудительного охлаждения - сравнительно низкая стоимость, простота установки и обслуживания. Тем не менее, применение принудительного охлаждения приводит к дополнительному потреблению энергии. Вращающиеся лопасти вентилятора создают значительный шум, а сами вентиляторы обладают не очень высокой надёжностью, что приводит к снижению надёжности работы РЭС в целом.

Для улучшения теплоотвода особо теплонагруженных элементов РЭС (мощные выходные каскады передатчиков, силовые полупроводниковые элементы, лазерные диоды и т.д.) в последнее время всё чаще применяют **жидкостные системы охлаждения** (Рис. 2.10), у которых значимо более высокая эффективность при умеренных габаритах, так как теплопроводность жидкости-хладагента (вода, тосол, спирт, трансформаторное масло, жидкий азот, ртуть и др.) в пять - семь раз выше, чем у воздуха (соответственно меньше и её тепловое сопротивление, а тепловой поток выше).

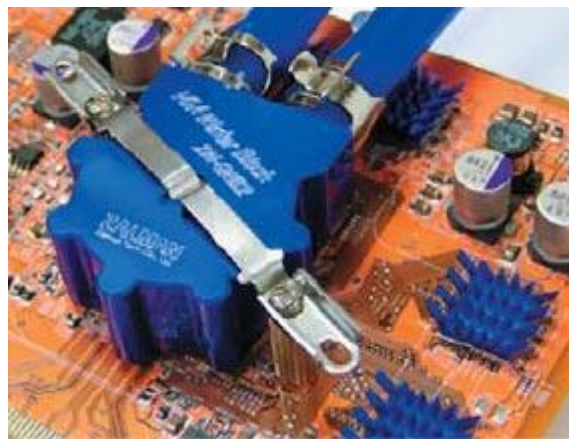



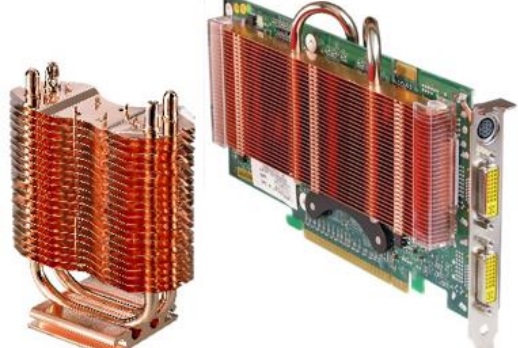


Рис. 2.10 - Жидкостная система охлаждения мощных ЭРЭ компании Zalman

В подобных системах небольшой теплообменник, объем которого существенно меньше, чем у воздушного радиатора, закрепляется на поверхности ЭРЭ. Из него по трубке с помощью микронасоса жидкость перекачивается в герметичный наружный радиатор, который может обдуваться наружным вентилятором. Недостатки жидкостных систем охлаждения связаны, прежде всего, с возможностью протечек хладагента, способных вывести из строя всё РЭС. Увеличенный шум (вентилятор и микронасос), повышенная стоимость и невысокая надёжность (изнашивающиеся элементы) также не способствуют широкому применению жидкостных систем охлаждения.

Тепловая труба (Таблица 2.3) — это герметичное теплопередающее устройство, которое работает по замкнутому испарительно-конденсационному циклу в тепловом контакте с внешними — источником и стоком тепла. Тепловые трубы широко используют для охлаждения и терморегулирования РЭС при конструктивной невозможности жидкостного охлаждения или охлаждения с применением вентилятора.

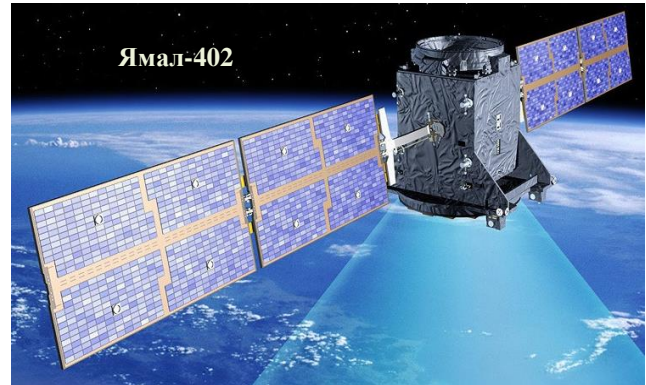
Таблица 2.3 - Конструкции систем с тепловыми трубами

<p>Тепловая трубка представляет собой закрытую трубку из теплопроводящего металла (например, меди), в которой находится легкокипящая жидкость (аммиак, метанол, этанол и т.п.). Внутренняя поверхность трубы представляет собой капиллярно-пористую структуру и играет роль фитиля.</p>	
<p>Перенос тепла происходит за счёт того, что жидкость испаряется на горячем конце трубки, поглощая теплоту испарения, и конденсируется на холодном. Здесь пар конденсируется на стенках, впитывается фитилём и жидкость под действием капиллярных сил снова поступает по фитилю в зону испарения.</p>	
<p>Один конец тепловой трубки подключают к источнику тепла, а другой — к приёмнику — радиатору, который может охлаждаться вентилятором. В результате интенсивного теплообмена количество отводимого тепла получается во много раз больше, чем при использовании радиаторов из меди или серебра.</p>	
<p>Применение больших радиаторов совместно с тепловыми трубками, пронизывающих рёбра радиатора в нескольких местах, позволяет ускорить распространение тепла по всему объёму радиатора, из-за чего улучшается теплообмен с окружающей средой, нет шума и потребления энергии.</p>	

Особенно полезно применение тепловых труб для переброса тепловых потоков от тепловыделяющих узлов к местам, где возможен их эффективный съём - например, за пределы корпуса РЭС или современных мощных компьютерных систем (в ноутбуках, в силовой электронике и т.п.).



Тепловые трубы широко используются в космической технике для снижения разности температур между поверхностью, обращённой к солнцу, и холодной поверхностью космического аппарата, внутри которого создаётся относительно равномерное температурное поле, что позволяет снизить механические напряжения, проще решать задачи стабилизации температуры и т.п.



Французский физик Жан Пельтье в 1834 году показал, что при протекании постоянного электрического тока через цепь из различных проводников, место соединения проводников охлаждается или нагревается в зависимости от направления тока, причём количество поглощаемой теплоты пропорционально току, проходящему через проводники (Рис. 2.11).

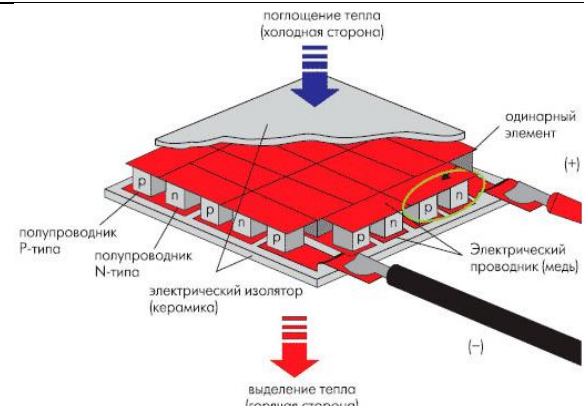


Рис. 2.11 - Устройство и внешний вид термоэлектрических модулей (элементов Пельтье), которые позволяют получить разность температур до 74 .. 76 К

Сам по себе элемент Пельтье может обеспечить только хороший отвод тепла от нагревающегося компонента. Чтобы эффективно рассеивать это тепло, необходимо устанавливать на горячую сторону элемента довольно мощный вентилятор или делать жидкостное охлаждение (Рис. 2.12).

Достоинства систем охлаждения на основе эффекта Пельтье:

- относительно простая и недорогая конструкция;
- значительная мощность теплопередачи при маленьких габаритных размерах;
- возможность плавного и точного регулирования холодопроизводительности и температурного режима;
- лёгкость перехода из режима охлаждения в режим нагрева;
- бесшумность работы;
- большой срок службы.

Недостатки:

- большие потребляемые токи и отдельное стабильное питание. охлаждения на
- дополнительный нагрев и низкий КПД (до 10%).



Рис. 2.12 – Системы базе модулей Пельтье:
а) воздушное;
б) жидкостное (видеокарта *GeForce 6800* компании *Ultra Arctic Spider* мощностью 437 Вт, на который установлен водоблок. Система дополнительно потребляет 600 Вт)

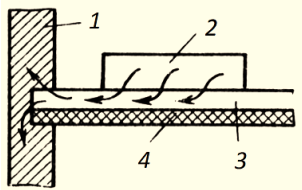
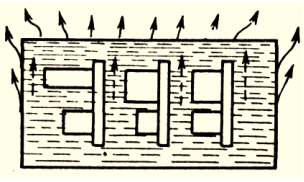
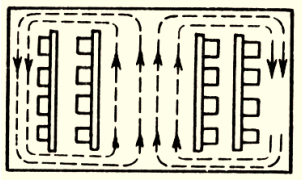
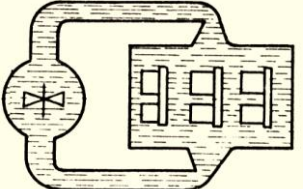
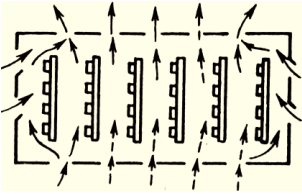
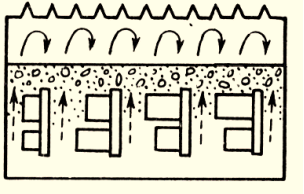
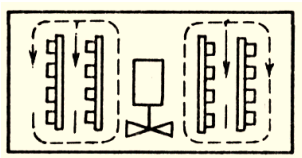
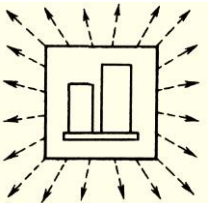
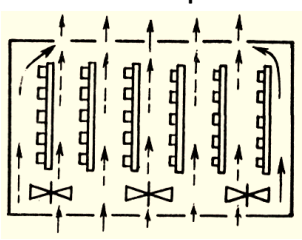
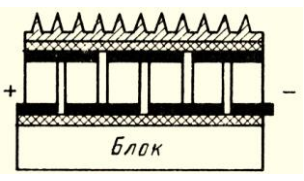
В настоящее время термоэлектрические модули активно используются в таких высокотехнологичных областях, как телекоммуникации, космос, ядерные установки, высокоточное оружие, медицина и в других современных лазерных, оптических, радиоэлектронных системах.

2.4.3 Выбор способа охлаждения РЭС

На ранней стадии проектирования информации о конструкции РЭС недостаточно. В то же время очевидно, что способ охлаждения будет во многом влиять на характер конструирования. Таким образом, чтобы приступить к предварительной проработке конструкции, вначале следует установить способ охлаждения, который должен обеспечить заданный по ТЗ тепловой режим РЭС. Установление способа охлаждения весьма ответственная и сложная задача. Если на ранней стадии конструирования он будет выбран неправильно, и это обнаружится лишь на более поздних стадиях, то изделие будет вынуждено перепроектироваться, и сроки его создания значительно увеличатся.

Охарактеризуем допустимые способы охлаждения РЭС (Таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Допустимые способы охлаждения РЭС

№	Способ охлаждения	№	Способ охлаждения
1	1 - стенка РЭС; 2 - ЭРЭ; 3 - теплоотвод; 4 - печатная плата	6	Естественное жидкостное
	Теплопроводность (кондукция) 		Конвекция 
2	Естественное воздушное в герметизированном корпусе	7	Принудительное жидкостное
	Конвекция 		Конвекция 
3	Естественное в негерметизированном корпусе	8	Охлаждение за счёт изменения агрегатного состояния теплоносителя.
	Конвекция 		Испарительное 
4	Принудительное воздушное в герметизированном корпусе	9	
	Конвекция 		Излучение 
5	Принудительное воздушное в негерметизированном корпусе	10	Поглощение или выделение тепла при прохождении тока в месте спаивания двух разнородных проводников
	Конвекция 		Эффект Пельтье 

Системы охлаждения можно также оценить по коэффициенту теплоотдачи K , Вт/(м²·°С)

(

Таблица 2.5).

Таблица 2.5 - Коэффициенты теплоотдачи K для различных систем охлаждения

Система охлаждения	Коэффициент теплоотдачи K , Вт/(м ² ·°С)
Естественная воздушная конвекция и излучение	2 - 10
Принудительная конвекция в воздухе и парах	10 - 100
Естественная конвекция в масле и других жидкостях той же плотности	200 - 300
Принудительная конвекция в масле и других жидкостях той же плотности	300 - 1000
Естественная конвекция в воде	200 - 600
Кипение воды	500 - 45000
Капельная конденсация водяных паров	40000 - 120000

В реальных РЭС все перечисленные выше способы переноса тепла могут работать одновременно в различных сочетаниях, и тепловой режим РЭС определяется их суммарным действием. Тот или иной вид теплоотвода приобретает преобладающее значение в зависимости от назначения и конструкции РЭС.

Прежде чем приступить к разработке конструкции РЭС, необходимо установить допустимую тепловую нагрузку всех радиоэлектронных элементов, а также параметры их реальных режимов эксплуатации.

Для определения предварительных параметров конструкции расчёт охлаждения аппаратуры можно провести только приближённо [21]. В частности можно воспользоваться статистическими графиками, характеризующими области рационального применения различных способов охлаждения (Рис. 2.13).

$\Delta T, ^\circ\text{C}$

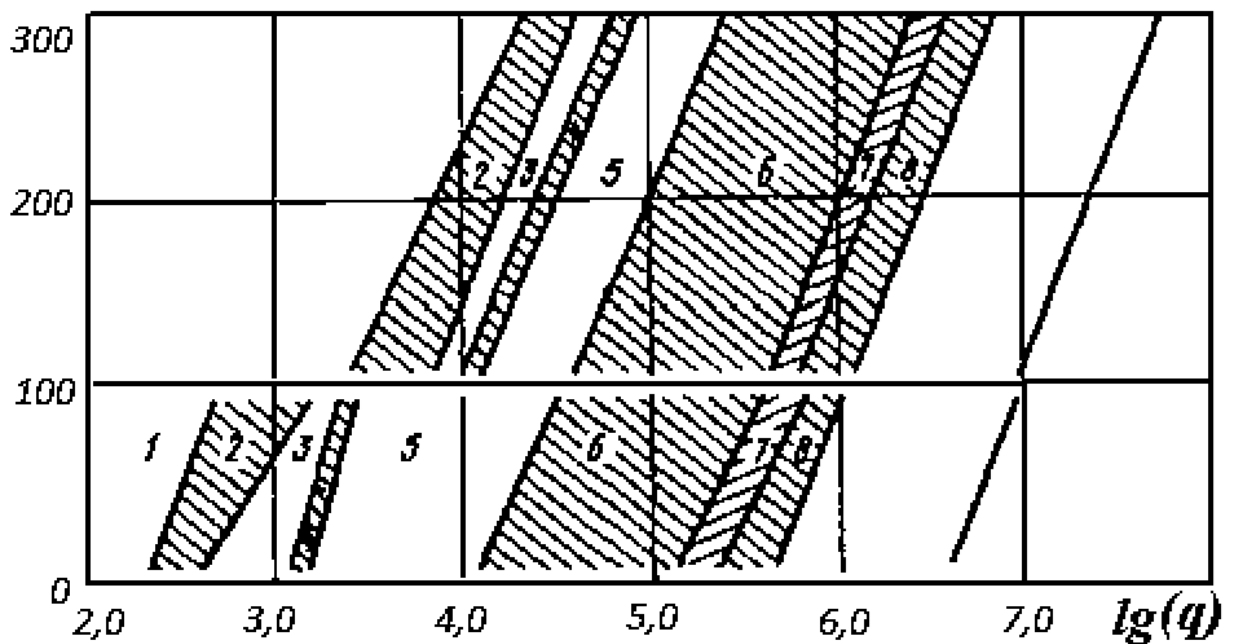


Рис. 2.13 – Области рационального применения различных способов охлаждения РЭС

На Рис. 2.13 показаны *незаштрихованные зоны*, где возможно применение *единственного способа* охлаждения (1 – естественное воздушное, 3 – принудительное воздушное, 5 – принудительное испарительное) и *заштрихованные области*, где возможно применение *нескольких способов охлаждения* (2 – свободное и принудительное воздушное, 4 – принудительное воздушное и жидкостное, 6 – принудительное жидкостное и свободное испарительное, 7 – принудительное жидкостное, принудительное и свободное испарительное, 8 – свободное принудительное и свободное испарительное, 9 – свободное и принудительное испарительное).

Заметим, что верхние кривые на Рис. 2.13, соответствуют $\Delta T > 100$ °С, и применяются обыкновенно для выбора способа охлаждения больших элементов (крупногабаритные лампы, магниты, дроссели и т.п.), так как при охлаждении разветвлённых поверхностей больших элементов можно получить более высокие эффективные коэффициенты теплоотдачи. Нижние кривые на Рис. 2.13 не являются продолжением соответствующих кривых в верхней части. Они применяются для выбора способа охлаждения блоков, стоек и т.п., выполненных на небольших ЭРЭ, так как для них, как правило, $\Delta T < 100$ °С.

Для предварительного расчёта необходимы следующие данные:

- суммарная мощность теплового потока P , Вт, рассеиваемая поверхностью теплообмена (корпуса) конструкции;
- суммарная площадь поверхности теплообмена (корпуса) S_{Π} ;
- допустимая рабочая температура наименее теплостойкого элемента $t_{ЭР\ min}$, °С;
- диапазон возможного изменения температуры окружающей среды $T_{c\ min} \dots T_{c\ max}$, °С;
- время непрерывной работы – τ ;
- допустимые температуры элементов – T_i ;
- минимальное давление окружающей среды $H_{c\ min}$, мм рт.ст.

Кроме того, необходимо задать коэффициент заполнения блока РЭС, характеризующий степень полезного использования объёма и являющийся одним из главных показателей качества конструкции:

$$K_3 = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{V},$$

где v_i – объём i -го элемента РЭС; n – число элементов в РЭС; V – объём, занимаемый РЭС; L_1 , L_2 и L_3 – горизонтальные и вертикальные размеры корпуса РЭС, которые можно определить прикидочными расчётами компоновки РЭС чтобы рассчитать условную величину поверхности теплообмена:

$$S_{\Pi} = 2 (L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot L_3 \cdot K_3).$$

Коэффициент заполнения может быть взят из ТЗ или рассчитан по геометрическим размерам чертежей корпуса РЭС.

Чтобы выбрать систему охлаждения, необходимо найти поверхностную плотность теплового потока q , проходящего через поверхность теплообмена

$$q = P \cdot \frac{K_p}{S_{\Pi}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

где P - суммарная мощность теплового потока, рассеиваемая РЭС с поверхности теплообмена. Её значение можно определить через потребляемую от источников питания мощность P_{Π} , которая обычно указывается в ТЗ, и коэффициент полезного действия изделия η :

$$P = P_{\Pi}(1 - \eta).$$

Поправочный коэффициент, учитывающий давление воздуха (при атмосферном давлении $K_p = 1$):

$$K_p = \frac{1}{(H_{c\ min}/H)^{0.5}}, \text{ где } H = 760 \text{ мм рт.ст. - нормальное давление.}$$

Вторым параметром может служить минимально допустимый перегрев элементов РЭС

$$\Delta T = T_{i\ min} - T_c,$$

где $T_{i\ min}$ - допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента по ТЗ, т.е. элемента, для которого допустимая температура имеет минимальное значение; для больших элементов это допустимая температура охлаждаемой поверхности; T_c - температура окружающей среды; для естественного охлаждения $T_c = T_{c\ max}$, т. е. соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ; для принудительного охлаждения $T_c = T_{вх}$, т. е. соответствует температуре воздуха (жидкости) на входе в РЭС..

Приближённо способ охлаждения определяется по Рис. 2.13 по номеру области, в которую попала точка с координатами $(q, \Delta T)$.

Более подробно этот способ описан в [21].

2.4.4 Выводы

Отвод тепла из блока РЭС к внешней поверхности кожуха, в котором имеются тепловыделяющие элементы, может осуществляться за счёт теплопроводности, конвекции и излучения:

- 1) в большинстве случаев для РЭС, особенно бортовых, в этом случае основным механизмом отвода тепла является теплопроводность;
- 2) отвод тепла излучением эффективен при высоких температурах нагретой зоны (более 100 .. 150°C), а надёжная работа РЭС при таких температурах невозможна;
- 3) при достаточно высокой плотности компоновки конвективный перенос тепла внутри блока может быть затруднён из-за малого сечения воздушных каналов.

Отвод тепла от кожуха блока во внешнюю среду осуществляется теми же механизмами.

За счёт естественной конвекции в условиях, когда давление среды не ниже 50% от нормального, от блока можно отвести не менее 90% выделяемой в нём тепловой мощности. При этом поверхностная плотность тепловыделения не должна превышать 0,02 Вт/см².

Если тепловыделение превышает указанный уровень, то необходимо переходить на принудительное охлаждение: воздушную вентиляцию, жидкостное или испарительное охлаждение блока.

Инженерные расчёты тепловых режимов РЭС обычно базируются на методе *электротепловой аналогии*, который позволяет сводить расчёт тепловых систем к расчёту электрических схем по основным правилам электротехники [20,21,24]. Для этого тепловые величины заменяются их электрическими аналогами, после чего рассчитывается электрическая схема и находится искомая тепловая величина. При этом аналогом теплового потока (мощности нагретой зоны $P_{нз}$) в тепловой цепи является ток на участке электрической цепи; аналогом разности температур ΔT нагретой зоны $T_{нз}$ и температуры окружающей среды $T_{ср}$ (или перегрева) на участке тепловой цепи является падение напряжения на участке электрической цепи; аналогом теплового сопротивления R_t соответствует электрическое сопротивление R , а тепловой проводимости δ - электропроводность.

Точные расчёты температурных полей ведут с помощью компьютерных систем теплового моделирования [15,14,25,17].

Конструктивные решения. Можно предложить несколько конструктивных решений, направленные на обеспечение приемлемого теплового режима:

1) важно всемерно обеспечить эффективный отвод тепла от источника во внешнюю среду (перфорация корпуса, расположение плат, широкие воздушные каналы и т.д.);

2) необходимо разнести на максимальное расстояние теплочувствительные элементы от максимально нагретых и обеспечить теплоизоляцию их друг от друга;

3) если это не противоречит условиям электромагнитной совместимости или другим важным параметрам РЭС, то теплонагруженные и теплочувствительные радиоэлектронные элементы лучше разнести по разным блокам;

4) тепловыделяющие элементы желательно располагать ближе к корпусу или непосредственно на его стенках;

5) для улучшения теплоотвода разумно использовать массу металлических шасси, на которых крепятся узлы и элементы РЭС. Там, где это возможно, размеры шасси и толщину их материала следует выбирать не только из соображений механической прочности, но и достаточной массы для обеспечения высоких теплопоглощения и теплопередачи.

6) в качестве конструкционных материалов целесообразно выбирать материалы с высокой теплопроводностью, а в качестве теплоизоляции - материалы с низкой теплопроводностью (Таблица 2.6);

Таблица 2.6 - Коэффициенты теплопроводности некоторых конструкционных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·град
Воздух	0,027
Пенопласт	0,03 - 0,06
Слюда	0,52
Вода	0,58
Стеклотекстолит	0,4 - 0,74
Стекло	0,74
Ситалл	1,3 - 1,5
Керамика на основе оксида алюминия (Al_2O_3)	18 - 24

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·град
Кремний	84-126
Керамика на основе оксида бериллия (BeO)	220 - 240
Керамика на основе нитрида алюминия (AlN)	200 -240
Сталь	45 - 92
Припой	75
Алюминий	230
Золото	320
Медь	390
Серебро	430
Алмаз	до 2600
Графен	до 5300
Тепловые трубы	до $10^5 - 10^6$

7) Из приведённой выше таблицы видно, что значение коэффициентов теплопроводности различных керамик близки к коэффициентам теплопроводности металлов, и это позволяет существенно улучшить теплоотдачу при конструировании микросхем и некоторых видов РЭС. Керамическим подложкам характерны повышенная устойчивость к воздействию теплового удара, влаги и химическим реагентам, высокая твёрдость, широкий диапазон рабочих температур и механических нагрузок, хорошие диэлектрические и тепловые свойства, а также повышенная стабильность размеров. У металлов, кремния и керамики невысокие коэффициенты температурного линейного расширения, достаточно близкие в широком температурном диапазоне, что позволяет создавать высоконадёжные в эксплуатации монтажные СВЧ- и ВЧ-платы для поверхностного монтажа беспроводных коммуникационных систем, станций сотовой связи, мобильных коммуникационных систем. космической, медицинской и другой аппаратуры.

8) чем ниже тепловое сопротивление, тем выше теплопередача. Поэтому для повышения эффективности теплового охлаждения необходимо всемерно снижать тепловое сопротивление переходных слоёв компонентов РЭС (кристалл - подложка, подложка - основание, основание - радиатор) с помощью теплопроводящих клеев, паст, подложек, пайки, хорошего прижима;

9) для ослабления переноса тепла от нагретой зоны в сторону, противоположную корпусу или радиатору, целесообразно использовать тепловые экраны с применением материалов с низкой теплопроводностью.

2.5 Анализ климатических воздействий

2.5.1 Климатические воздействия на РЭС

Защита от влияния климатических условий - одна из важнейших жизненных задач проектирования РЭС. Влияние климатических факторов на конструкционные материалы выражается главным образом в возникновении процессов коррозии, потере механических и диэлектрических свойств, изменении электропроводности.

Для разрабатываемого РЭС следует установить диапазоны рабочих температур, влажности и давления исходя из климата, категории исполнения и места размещения. В ТЗ задаются параметры **климатических воздействий на разрабатываемое** РЭС (пониженная, повышенная и циклическая смена температуры, повышенное и пониженное атмосферное давление, влага в виде дождя, инея, росы, снега или повышенного содержания водяных паров в атмосфере, солнечная радиация, примеси в воздухе в виде пыли, промышленных газов, морского тумана, ветер, различные биологические факторы, коррозионная агрессивность атмосферы [26]).

2.5.2 Классификация РЭС по механическим и климатическим воздействиям

Таблица 2.7 знакомит с некоторыми группами РЭС, для которых ГОСТ 16019-2001 [27] устанавливает нормы механических и климатических воздействий в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 2.7 - Группы РЭС по механическим и климатическим воздействиям

Название группы	Характеристика и условия эксплуатации группы
C1	Стационарная, устанавливаемая в отапливаемых наземных и подземных сооружениях
C2	Стационарная, устанавливаемая под навесом, на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных и подземных сооружениях
B3	Возимая, устанавливаемая во внутренних помещениях речных судов
B4	Возимая, устанавливаемая в автомобилях, мотоциклах, в сельскохозяйственной и другой технике
B5	Возимая, устанавливаемая в подвижных железнодорожных объектах
H6	Носимая, размещаемая при эксплуатации в одежде или под одеждой оператора, или в отапливаемых наземных или подземных сооружениях
H7	Портативные, предназначенные для длительной переноски на открытом воздухе при облегчённых внешних воздействиях или в отапливаемых наземных и подземных сооружениях и работающие на ходу

Определённое сочетание перечисленных выше факторов образуют ту или иную климатическую зону.

Нормальными значениями климатических факторов внешней среды считаются:

- температура 25 ± 10 °С;
- относительная влажность воздуха 45 .. 80%;
- атмосферное давление 64,0 .. 106,7 кПа (630 .. 800 мм рт. ст.), соответствующее высоте работы РЭС до 1000 м над уровнем моря;
- отсутствие активных веществ в окружающей атмосфере.

2.5.3 Группы жёсткости

Условия эксплуатации РЭС (в частности, печатных плат) ГОСТ 23752-79 [28] классифицируют по **группам жёсткости**, отличающихся по стойкости печатных плат к внешним воздействующим факторам, определяющих их область применения в аппаратуре.

К изделиям каждой группы жёсткости предъявляются соответствующие требования к конструкции и используемым материалам, которые характеризуют необходимую дополнительную защиту от климатических, механических, биологических и других воздействий (Таблица 2.8), а также методику их испытаний. Выбранную группу жёсткости следует указать в конструкторской документации.

Таблица 2.8 - Виды и величины воздействующих факторов по группам жёсткости

Наименование воздействующего фактора		Значение воздействующего фактора по группам жёсткости			
		1	2	3	4
Температура окружающей среды	Повышенная температура, °С	85 ± 3		100 ± 3	120 ± 5
	Пониженная температура, °С	-60 ± 3			
	Время выдержки, ч	2			
Повышенная влажность	Относительная влажность, %	93 ± 3			
	Температура, °С	40 ± 2			
	Время выдержки, сут.	2	4	10	21
Циклическое воздействие	Верхнее значение температуры, °С	55 ± 3	85 ± 5	100 ± 3	120 ± 5
	Нижнее значение температуры, °С	-40 ± 3	-60 ± 3		
	Количество циклов	2	4		9
Давление, Па (мм рт. ст.)		Нормальное	53600 (400)		666 (5)

2.5.4 Особенности конструкции РЭС в зависимости от района эксплуатации

В зависимости от макроклиматического района, разрабатываемые РЭС могут иметь определённые особенности. Отдельные климатические факторы могут проявлять себя

независимо от остальных, а другие факторы - в совместном воздействии с прочими факторами той или иной группы. Существует определённая связь между конкретным видом внешнего воздействия на аппаратуру и ускоряемым с его помощью физико-химическим процессом в конструкции.

ГОСТ 15150-69 [29] классифицирует **макроклиматические районы эксплуатации**



Рис. 2.14 – Макроклиматические районы эксплуатации разрабатываемой РЭС
(Таблица 2.9) **разрабатываемого РЭС** (Рис. 2.14).

Таблица 2.9 - Типы климатов и макроклиматов исполнения РЭС

Климатические исполнения изделий	Обозначения		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озёрах			
Для макроклиматического района с умеренным кли-	У	(N)	0
Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом	УХЛ	(NF)	1
Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом	ТВ	(TH)	2
Для макроклиматического района с сухим тропическим климатом	ТС	(TA)	3
Для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т	(T)	4
Для всех макроклиматических районов, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	О	(U)	5

Климатические исполнения изделий	Обозначения		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом			
Для макроклиматического района с умеренно-холодным морским климатом	М	(M)	6
Для макроклиматического района с тропическим морским климатом, в том числе для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плава-	ТМ	(TM)	7
Для макроклиматических районов как с умеренно-холодным так и с тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного плавания	ОМ	(MU)	8
Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение)	В	(W)	9

Любое РЭС может иметь **климатическое исполнение**, соответствующее указанным районам, что отмечается в документации сокращённо теми же буквами, какими обозначен район:

- изделие, предназначенное для работы как при влажном, так и при сухом тропическом климате обозначают буквой **T**;
- исполнение, допускающее работу во всех климатических районах на суше, обозначают буквой **O**;
- исполнение для всех морских районов - буквой **M**;
- исполнение для всех районов на суше и на море - буквой **B** и т.д.

Таблица 2.10 – Основные категории исполнения РЭС в зависимости от климатических условий в соответствии с ГОСТ 15150-69 [29]

Укрупнённая категория	Обозн.	Дополнительная категория	Обозн.
Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района)	1	Для работы и эксплуатационного хранения в помещениях категории 4 и для кратковременной работы в других условиях	1.1

Укрупнённая категория	Обозн.	Дополнительная категория	Обозн.
Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется доступ наружного воздуха (кузова, навесы), а также в изделии категории 1 или под навесом.	2	Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категорий 1; 1,1; 2, конструкция которых исключает возможность конденсации влаги на встроенных элементах (например, внутри радиоэлектронной аппаратуры)	2.1
Для эксплуатации в закрытых помещениях (объёмах) с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, например, в металлических с теплоизоляцией, бетонных, где колебания температуры и влажности воздуха, а также воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом	3	Для эксплуатации в нерегулярно отапливаемых помещениях	3.1
Для эксплуатации в закрытых помещениях (объёмах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помеще-	4	Для эксплуатации в помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом	4.1
		Для эксплуатации в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях	4.2
Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, подвалах, судовых, корабельных помещениях, в которых возможно длительное наличие воды)	5	Для эксплуатации в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий категории 5, при условии отсутствия на них конденсации влаги	5.1

Значения рабочих температур и влажности определяются макроклиматической зоной и категорией исполнения в соответствии с ГОСТ 15150-69 [29]. Таблица 2.11 знакомит с рекомендуемыми значениями рабочих температур окружающего воздуха при эксплуатации РЭС различных категорий климатических исполнений.

Таблица 2.11 - Значения рабочих температур воздуха для климатических исполнений РЭС

Исполнение изделия	Категория изделий	Температура воздуха, °С	
		верхняя	нижняя
У	1; 1.1; 2; 2.1; 3	+40	-45
	3.1	+40	-40
	5; 5.1	+35	-5
УХЛ	1; 1.1; 2; 2.1; 3	+40	-60
	3.1	+40	-10
	4	+35	+1
	4.1	+25	+10
	4.2	+35	+10
	5; 5.1	+35	-10
Т, ТС	1; 1.1; 2; 2.1; 3; 3.1	+50	-10
	4	+45	+1
	4.1	+25	+10
	4.2	+45	+10
	5; 5.1	+35	+1
ТВ	1; 1.1; 2; 2.1; 3; 3.1; 4	+40	+1
	4.1	+25	+10
	4.2	+45	+10
	5; 5.1	+35	+1
О	1; 1.1; 2; 2.1	+50	-60
	4	+45	+1
	4.1	+25	+10
	4.2	+45	+10
	5; 5.1	+35	-10
М	1; 1.1; 2; 2.1; 3; 5; 5.1	+40	-40
	3.1; 4	+40	-10
	4.1	+35	+15
	4.2	+40	+1
ТМ	1; 1.1; 2; 2.1; 3; 5; 5.1	+40	+1
	4; 4.2	+40	+1
	4.1	+35	+10
ОМ	1; 1.1; 2; 2.1; 3; 5; 5.1	+45	-40
	3.1; 4	+45	-10
	4.1	+35	+15
	4.2	+40	+1
В	1; 1.1; 2; 2.1; 3	+50	-60
	3.1	+50	-10
	4	+45	-10
	4.1	+25	+10
	4.2	+45	+1
	5; 5.1	+45	-40

В районах с **умеренным климатом (У)** (европейская часть России, южная часть Западной Сибири, Приморский край, большая часть Европы, США, прибрежные территории Австралии, Южной Африки и Южной Америки) температура воздуха лежит в пределах от +

40 до - 45 °С, годовой перепад температур для некоторых районов достигает 80 °С, среднесуточный — до 40 °С. Для таких районов характерно образование инея, выпадение росы, наличие тумана, изменение давления воздуха от 86 до 106 кПа.

Для районов с **умеренным климатом** РЭС в большинстве случаев не требуют особых средств защиты.

В районах с **холодным климатом** минимальная температура ниже -45 °С (почти вся Сибирь и Дальний Восток, Канада, Аляска, Гренландия) условия эксплуатации РЭС более тяжёлые. При эксплуатации РЭС в арктических и антарктических условиях температура воздуха может понижаться до - (70 .. 80)°С. То же самое происходит и при подъёме на высоту более 10 км. Особенностью этой климатической зоны является высокая прозрачность атмосферы, из-за чего может возникнуть ионизация воздуха и, как следствие, накопление на поверхности аппаратуры статического электричества. Характерной особенностью этого региона является также сочетание **низких температур с сильным ветром**, что приводит к обледенению, выпадению инея, мелкой снежной пыли. В конструкции органов управления и контроля должны быть учтено, что оператор может работать в тёплой одежде и перчатках.

В районах с **влажным тропическим климатом** (большая часть Центральной и Южной Америки, средняя часть Африки, Юг Индии, Индонезия, часть Юго-Восточной Азии) температура больше +20°С с перепадом температур за сутки не более 10°С. Высокая температура в сочетании с высокой относительной влажностью (более 80%), которая наблюдается не менее 12 часов в сутки, вызывает образование на поверхности материалов плёнки жидкости, что вызывает ускоренную коррозию металлов, набухание пористых (в том числе и изоляционных) материалов и изменение их электрофизических свойств, развитие плесени. Сопротивление изоляции после поглощения воды существенно снижается. Высокая влажность и повышенная концентрация солей (особенно вблизи побережья морей и океанов) делает атмосферу этой зоны коррозионно-агрессивной. В промышленных районах в атмосфере содержится сернистый газ и хлориды, ускоряющие коррозию. Благоприятное сочетание температуры и влажности способствует существованию огромного числа видов плесневых грибов.

Для районов с **сухим тропическим климатом** (северная часть Африки, центральная Австралия, засушливые районы Средней Азии, Аравийский полуостров, часть Северной Америки) температура воздуха превышает + 40°С, а влажность ниже норм. Из-за повышенной температуры, малой влажности, наличия песка и пыли, интенсивного воздействия солнечной радиации (до 1500 Вт/м²), могут изменяться размеры элементов конструкции, размягчение, коробление и высыхание некоторых материалов. Высокое содержание пыли и песка в атмосфере способствует отрицательному абразивному и химическому воздействию на РЭС. Часто уже при относительно небольшой влажности пыль существенно повышает скорость коррозии - обычную во влажных помещениях или на открытом воздухе.

Для защиты от пыли конструкция подобных РЭС должна иметь надёжные уплотнения в местах вводов осей механизмов и кабелей, системы вентиляции и термостабилизации.

Умеренно холодная морская зона включает моря, океаны и прибрежные территории, расположенные севернее 30° северной широты и южнее 30° южной широты. Остальная часть морей, океанов и прибрежных территорий относится к тропически морской зоне. Климат морских зон отличается сравнительно небольшими суточными перепадами температур, наличием высокой влажности и значительной концентрацией хлоридов в атмосфере.

Учитывая специфику каждой из климатических зон, РЭС наземного базирования, предназначенные для работы в тропических зонах, должны быть изготовлены в соответствующем исполнении, что отмечается в документации индексом Т. РЭС, устанавливаемые на судах с неограниченным районом плавания, имеют обозначение ОМ. РЭС, пригодные для эксплуатации на суше и на море, имеют индекс В.

Как повышенные, так и пониженные температуры влияют на место установки РЭС, расположение источников внешнего нагрева, выделение тепла активными элементами внутри РЭС и суточным изменением температуры окружающей среды. Так как электрические параметры микросхем и других ЭРЭ температурозависимы, нужно, чтобы температура нагрева наиболее чувствительных к окружающей температуре элементов находилась в допустимых для этих элементов пределах.

Холодоустойчивое РЭС должно быть сконструировано так, чтобы при заданной отрицательной температуре его параметры сохранялись в заранее установленных пределах.

Следует учитывать, что значимо изменяются геометрические размеры деталей.

Понижение температуры оказывает влияние на работу электромеханических устройств, так как её большие перепады (например, при подъёме самолёта от + 20 до - 60°С) приводят к изменениям зазоров и натягов, поскольку материалы конструкций РЭС имеют разные коэффициенты линейного расширения. Одновременно происходит значительное возрастание вязкости (сгущение) жидкостей и, в особенности, смазочных веществ, что вызывает увеличение моментов и сил трения в подвижных устройствах и может привести к заклиниванию механизмов.

При понижении температуры окружающего воздуха резко снижается прочность материалов. Многие материалы становятся хрупкими, что особенно опасно при ударных нагрузках. Существенно меняются и многие параметры ЭРЭ, ухудшаются электрические параметры деталей и узлов, ухудшается работа гальванических элементов.

При низких температурах в припое возникают внутренние напряжения, и так как припой плохо работает на растяжение, то возможно разрушение паяных корпусов РЭС, мест пайки и т.д.

Теплоустойчивые РЭС должны сохранять стабильность параметров в определённых пределах при повышении температуры.

При работе РЭС в районах с тропическим климатом температура воздуха может повышаться до +45°, а в отдельных случаях и более. В закрытых помещениях, находящихся под непосредственным воздействием солнца (в самолёте, который стоит на земле), температура воздуха может достигать +70 °С.

Обшивка сверхзвукового самолёта или обтекателя ракеты могут нагреваться в результате трения о встречный газовый поток до +150 .. 200°C, а расположенные в них РЭС будут работать при температуре порядка +100°C и выше.

Чрезвычайно опасен **тепловой удар** (термоудар), характеризующийся резким изменением температуры окружающей среды. При этом за несколько минут перепад температуры может составлять десятки градусов. Тепловой удар вызывает механические напряжения в местах пайки и других подвижных соединениях, растрескивание металлических и неметаллических покрытий. В особенности циклические тепловые удары (самолёты, ракеты, космические аппараты) значительное влияние оказывают на элементы конструкции, в которых имеются локальные механические напряжения, способствуя образованию микротрещин, их росту и объединению.

Многие конструктивные материалы при высоких температурах претерпевают структурные изменения (тепловое старение материалов).

Например, перегрев технической меди на 100°C приводит к увеличению сопротивления на 40 %.

При повышении температур свыше +85 .. 100°C в германиевых и +120 .. 150°C в кремниевых полупроводниковых приборах наступают необратимые изменения, приводящие к выходу их из строя.

При длительной работе РЭС в условиях повышенной температуры могут появиться необратимые изменения параметров изоляционных материалов. Происходит уменьшение электрической прочности диэлектриков, что может приводить к пробоям в схеме и полному отказу РЭС.

Происходящее при изменении температуры окружающей среды уменьшение сопротивления изоляции приводит к увеличению потерь, к появлению утечек в схемах, к уменьшению добротности контуров и к другим нежелательным явлениям – например, меняется диэлектрическая проницаемость диэлектриков. Если диэлектрик, у которого температурное изменение велико, применить в конденсаторе, образующем вместе с катушкой резонансный контур, то при изменении температуры будет меняться и частота настройки контура. При этом изменится уровень сигнала передатчика или приёмника, где этот контур используется, что может привести к потере связи.

Следует учесть, что условия, в которых находятся ЭРЭ, могут отличаться от условий, в которых работает вся РЭС. Так, из-за выделяемого в РЭС тепла температура внутри корпуса может значительно превышать температуру окружающей среды. При хорошей герметизации корпуса влажность воздуха вблизи ЭРЭ может быть существенно ниже влажности окружающего воздуха и т.д.

Повышение температуры приводит резкому снижению надёжности работы большинства ЭРЭ. Так при повышении температуры с 20 до 60 °C интенсивность отказов возрастает: у электронно-вакуумных приборов в 1.5 .. 2 раза, у резисторов в 2 .. 3 раза, у полупроводников приборов в 3 .. 4 раза, у конденсаторов в 6 .. 8 раз, у микросхем в 6 .. 10 раз.

Таким образом, тепловой режим является важнейшим фактором, определяющим эксплуатационную надёжность РЭС, и задача проектировщика обеспечить нормальный тепловой режим [18,20,21,24].

2.5.5 Защита РЭС от влияния влаги и других атмосферных факторов

Повышенная влажность окружающей среды крайне опасна при эксплуатации РЭС, так как агрессивное воздействие воды на большинство используемых в РЭС электрорадиоэлементов и материалов приводит к изменению их электрофизических свойств и механических характеристик. Чаще всего условия работы РЭС не предполагают прямое попадание воды, и на него главным образом оказывает влияние влага - пары воды, содержащиеся в атмосфере. Однако некоторые категории РЭС, эксплуатируемые в полевых условиях (носимые, транспортируемые, морские) нередко работают при непосредственном воздействии атмосферных осадков (дождь или брызги) и даже под водой (радиогидроакустические буи, системы навигации подводных лодок, подводные исследования и др.).

Рассмотрим основные проблемы, возникающие при воздействии влаги на РЭС.

Коррозия. Влажность меняет многие свойства поверхности металлов: прочность, электропроводность, теплопроводность, степень черноты, степень шероховатости и т.п. Воздействуя на металлы, влага вызывает появление коррозии металлов. В результате коррозии ухудшается декоративный вид поверхностей, зеркальные поверхности теряют отражательную способность, разъёмные соединения труднее разъединяются. При коррозии может происходить разгерметизация герметичных металлических корпусов.

Защита металлов от коррозии осуществляется соответствующими материалами, покрытиями, применением усиленной вентиляции сухим воздухом, поддержанием внутри изделий более высокой температуры, чем температура окружающей среды, использованием поглотителей влаги, разработкой герметичной аппаратуры.

Нарушение изоляции. При воздействии воздуха с высоким содержанием водяных паров, особенно при повышенной температуре, влага проникает внутрь изоляционных материалов через микротрещины или благодаря явлению диффузии. Так как проводимость воды значительно выше проводимости диэлектриков, то воздействие влаги приводит к резкому уменьшению сопротивления изоляции, росту потерь в диэлектрике и изменению относительной диэлектрической проницаемости.

В полной мере это относится к печатным платам. Повышенная влажность снижает сопротивление изоляции у коммутирующих устройств и между проводниками печатных плат функциональных узлов. Слоистые диэлектрики, поглощая влагу, меняют параметры и характеристики. Образование на печатных платах водяной плёнки приводит к снижению сопротивления изоляции диэлектриков, появлению токов утечки, электрическим пробоям, механическим разрушениям вследствие набухания-высыхания материала.

В трансформаторах влага, проникая через трещины в заливке, уменьшает сопротивление изоляции и способствует развитию электрохимических процессов между витками, находящимися под разными потенциалами, что способствует возникновению пробоя.

Из-за поглощения влаги значительно уменьшается электрическая прочность, что особенно сказывается на работоспособности высоковольтных узлов. Влажность ускоряет разрушение лакокрасочных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки элементов влагозащитными материалами. Влажность ускоряет разрушение лакокрасочных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки элементов влагозащитными материалами.

Заметим, что за 3-4 года эксплуатации при относительной влажности ниже 20 % и температуре +30°C изоляция проводов полностью высыхает, растрескивается и осыпается, что может привести к короткому замыканию и возгоранию.

Влияние влаги на электрорадиоэлементы. Повышенная влажность оказывает влияние не только на материалы, но и на ЭРЭ.

Проникая между обкладками конденсаторов, влага изменяет их ёмкость, снижает сопротивление изоляции и допустимую величину рабочего напряжения. Наиболее чувствительны к влаге негерметизированные бумажные, плёночные и керамические конденсаторы.

В катушках индуктивности при воздействии влаги снижается добротность и возрастает паразитная ёмкость и потери, особенно в катушках с каркасами из гигроскопических материалов, намотанных проводами с шёлковой или хлопчатобумажной изоляцией. При действии влаги добротность таких катушек может снижаться до 40%.

Влага существенно влияет на сопротивление и надёжность резисторов, приводя к постепенному изменению номинального значения величины сопротивления вплоть до обрыва или короткого замыкания.

Из-за попадания паров воды внутрь корпуса перестают выполнять свои функции кристаллы кварца.

Наиболее чувствительны к воздействию влаги полупроводниковые материалы, в частности, элементы и структуры интегральных схем. Влага на поверхности тонкоплёночных пассивных элементов может привести к увеличению диэлектрической проницаемости, потерям и утечкам в диэлектриках, образованию коррозии и перемычек, создающих обрывы и короткие замыкания и др.

Серьёзные последствия могут возникнуть от воздействия влажности на электрические соединения. При повышенной влажности подвергаются коррозии проводники, на разъёмных контактах появляются налёты, ухудшающие их качество, отказывают паяные соединения, особенно если они загрязнены. Из-за уменьшения поверхностной электрической проводимости при коррозии увеличивается переходное сопротивление контактов реле, переключателей и других коммутирующих элементов, снижается добротность катушек индуктивности.

Влияние загрязнения воды. Вода, содержащаяся в атмосфере, практически всегда загрязнена активными веществами (углекислыми и сернистыми солями кальция, магния, железа, азотом, кислородом, углекислым газом и др.). Особенно загрязнена вода различными коррозионно-активными агентами (озоном, хлором, аммиаком, сернистым газом и пр.) на промышленных предприятиях и в промышленно развитых городах с тяжёлой индустрией. Коррозионно-активные агенты усиливают в конструкциях РЭС химические реакции, такие как физико-химическая коррозия металлов, разрушение покрытий и снижение сопротивления изоляции. Загрязнённая вода создаёт благоприятные условия для образования плесени и грибов.

Пыль и песок. Пыль и песок находятся в атмосфере и движутся вместе с воздушным потоком. Все категории РЭС, особенно устанавливаемой на подвижных объектах, работают

при интенсивном воздействии пыли. Попадая в смазочные материалы движущихся механических устройств, пыль вызывает окисление смазочных материалов, повышает у них трение и износ. Вблизи городов (особенно связанных с угледобывающими, горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями) и теплоэлектростанций содержание пыли и песка значительно увеличивается. Большую часть таких пылевых загрязнений составляют зола, сажа, продукты сгорания серы и др.

Оседая на поверхности различных деталей и ЭРЭ, пыль создаёт хорошие условия для их увлажнения. Содержащиеся в пыли растворимые соли также хорошо поглощают влагу. При этом на поверхности металлов может происходить коррозия, а на поверхности изоляционных материалов адсорбция влаги.

В печатных платах снижается сопротивление изоляции, что приводит к трудно обнаруживаемым отказам.

Увлажнённая пыль способствует разрушению лакокрасочных покрытий. Пыль плохо проводит тепло, и оседание её на поверхностях тепловыделяющих элементов приводит к увеличению нагрева и отказу этих элементов.

Способы защиты РЭС от влаги и пыли. Для защиты РЭС от пыли и песка при проектировании должны быть предусмотрены различные прокладки на стыках корпуса, защита перфорации корпуса сеткой, фильтры вентиляционных отверстий и герметизация устройства.

Надёжная эксплуатация РЭС в условиях повышенной влажности должна быть обеспечена на стадии их проектирования использованием влагоустойчивых материалов, электрорадиоэлементов, покрытий.

Нормальной влажностью считается относительная влажность 60...75 % при температуре 20...25°C.

При проектировании РЭС различных категорий исполнений прежде всего нужно установить возможный диапазон действия параметров влаги при эксплуатации (Таблица 2.12).

Таблица 2.12 - Значения относительной влажности и температуры воздуха для различных климатических исполнений РЭС (ГОСТ 15150-69 [29])

Исполнение изделий	Категория изделий	Относительная влажность	Абсолютная влажность, г·м ⁻²
УХЛ	4; 4.1; 4;2	80 % при 25 °С	10
У, УХЛ (ХЛ), ТУ	1; 2; 5	100 % при 25 °С	11
	1.1; 2.1; 3; 3.1;	98 % при 25 °С	10
	5.1	98 % при 25 °С	13
ТС	1; 1.1; 2; 3; 3.1; 5	100 % при 25 °С	10 .. 13
	4; 4.1; 4.2; 5.1	80 % при 25 °С	10 .. 13
Т, ТВ, О, В, ТМ,	1; 2; 5	100 % при 35 °С	20
ОМ	1.1; 2.1; 5.1	98 % при 35 °С	17 .. 20
ТВ, Т, В,	3; 3.1; 4; 4.2	98 % при 35 °С	17
ТМ, ОМ	4.1	80 % при 25 °С	10

М	1; 2; 5	100 % при 25 °С	15
	1.1; 3; 3.1; 4; 4.2	98 % при 25 °С	11
	2.1; 5.1	98 % при 25 °С	15
	4.1	80 % при 25 °С	10

Как видно из приведённой выше таблицы, количество влаги, содержащейся в воздухе при различных климатических условиях, различно. В областях умеренного климата относительная влажность воздуха составляет 65 .. 80%; в пустынях она может уменьшаться до 5 .. 10%, а в тропиках - достигать 100% при температуре воздуха до +35°С.

Выпадение росы. Практически всегда при отключении и последующем хранении аппаратуры понижение температуры сопровождается уменьшением количества паров воды в воздухе, что может сопровождаться конденсацией влаги (выпадением росы) на холодных внутренних поверхностях конструкции РЭС. Капли конденсата обычно стекаются и собираются в местах «ловушек влаги», в результате чего РЭС будет находиться под постоянным воздействием влаги, вызывая отказы.

Выпадение росы на элементы РЭС происходит при определённой температуре (точка росы), значение которой зависит от относительной влажности атмосферы (Таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Зависимость температуры точки росы от относительной влажности

Относительная влажность, %	100	80	60	40	20
Точка росы, °С	15,5	12,1	7,8	2,0	-6,6

Подобные явления могут произойти и при попадании авиационной техники в насыщенный влагой воздух (туман), если температура РЭС ниже температуры воздуха.

Герметизация. Влагоустойчивое РЭС должно сохранять параметры в заранее установленных пределах при работе в среде с повышенной относительной влажностью. Герметизация является наиболее действенным способом повышения надёжности и долговечности РЭС.

Рассмотрим некоторые способы герметизации.

Индивидуальная герметизация (например, резьбовых соединений с помощью резиновых и других уплотнительных прокладок, а также влагостойких герметиков⁷) обеспечивает практическую непроницаемость корпуса РЭС для жидкостей и газов, защищая его элементы от влаги, плесневых грибков, пыли, песка, грязи. Она допускает замену компонентов РЭС при выходе из строя и ремонт изделия.

Общая герметизация (например, использованием готовых пластмассовых корпусов) проще и дешевле индивидуальной, но замена компонентов и ремонт возможны только при демонтаже корпуса, что может вызвать затруднение.

⁷ **Герметик** - пастообразная композиция на основе полимеров, которую наносят на соединения для предотвращения утечки влаги через зазоры конструкции, гидроизоляции и для герметизации.

Полная герметизация достигается при использовании корпуса специальной конструкции (Рис. 2.15) из металлов, стекла и керамики с высокой степенью непроницаемости. Герметичный корпус заполняется сухим воздухом или инертным газом (лучше под избыточным давлением).

Частичная герметизация обеспечивается обволакиванием и заливкой как компонентов, так и РЭС лаками, эмалями, или компаундами⁸ и т.д. [30].

К сожалению, подобная защита не может гарантировать герметичность в течение длительного времени.

Конструктивные способы защиты.

Определённые специальные конструкторско-технологических приёмы также могут помочь в защите РЭС от песка и влаги. Среди таких мер применение усиленной вентиляции сухим воздухом, поддержание внутри РЭС более высокой температуры, чем температура окружающей среды, использование поглотителей влаги.

Разумно использовать вертикальную ориентацию печатных плат и электрических соединителей, чтобы влага стекала с них естественным образом. Влага с конструкции будет скатываться легче, если её поверхность будет гладкой.

2.5.6 Влияние атмосферного давления

Пониженное и повышенное давление окружающей среды зависит прежде всего от высоты над уровнем моря места, где эксплуатируется РЭС. На Рис. 2.16 приведён график изменения температуры и атмосферного давления от высоты над уровнем моря.

С увеличением высоты над поверхностью Земли на каждые 10 м атмосферное давление понижается примерно на 1 мм рт. ст.). Атмосфера все более разрежается и постепенно исчезают такие явления, как распространение звука, сопротивление воздушному потоку, возникновение аэродинамической подъёмной силы и т.д.). Содержание влаги в атмосфере с ростом высоты также уменьшается.

С понижением атмосферного давления увеличивается температура тепловыделяющих элементов, так как ухудшается теплоотдача от нагретых частей РЭС за счёт **конвекции**. Элементы РЭС менее эффективно охлаждаются с помощью воздушных потоков и воздушных радиаторов, в результате чего их температура повышается.



Рис. 2.15 - Для исключения проникновения внутрь влаги между половинками герметичного корпуса установлена резиновая прокладка

⁸ **Компаунд** - композиция на основе органических (смола, битумов, масел) веществ, позволяющая улучшить электроизоляционные и механические характеристики узла РЭС. Недостатки: низкая теплопроводность большинства компаундов ухудшает отвод теплоты, ограничивает или делает невозможным ремонт, внутренние напряжения могут нарушить целостность деталей и электрических соединений.

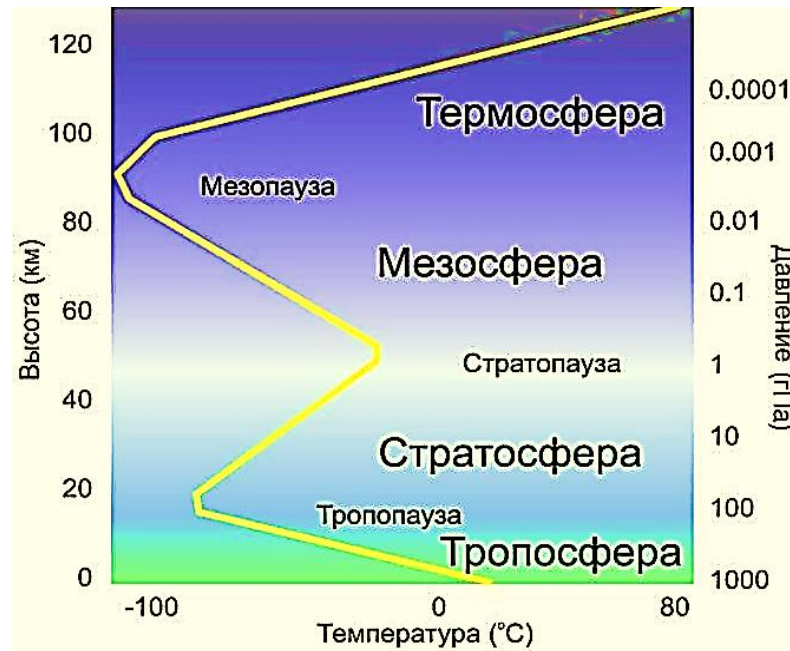


Рис. 2.16 - Зависимость температуры и давления воздуха от высоты над уровнем моря

При проектировании РЭС, размещаемых в герметизированных отсеках космических аппаратов, следует учитывать воздействие **невесомости** на тепловой режим, которое характеризуется полным отсутствием естественной конвективной составляющей теплоотдачи от тепловыделяющих элементов и требует принудительной циркуляции воздуха с использованием вентиляторов.

РЭС, размещённые в негерметизированных отсеках космического аппарата, работают в условиях глубокого вакуума. Тепловое воздействие вакуума проявляется в снижении теплоотвода от выделяющих тепло элементов из-за отсутствия конвективного теплообмена и резкого падения теплопроводности газа. Передача теплоты осуществляется только с помощью лучистого обмена и с помощью теплопроводности. Ухудшение теплоотвода от изделий в глубоком вакууме вызывает перегрев и выход из строя РЭС.

Понижение давления воздуха сопровождается уменьшением его электрической прочности, что в ряде случаев может привести к пробоям воздушных промежутков.

2.5.7 Защита РЭС от биологических воздействий

Негативное влияние на РЭС оказывают **биологические воздействия** (грибковые образования, насекомые, грызуны, насекомые, грызуны, животные и птицы.).

Плесень. Высокая влажность воздуха способствует образованию на органических изоляционных материалах плесневых грибов. Они развиваются на пластмассах, красках, лаках, коже, резине, текстиле. Хорошей питательной средой для плесени является канифоль, которая может оставаться на местах пайки. Грибковые образования в процессе своей жизнедеятельности выделяют лимонную, уксусную, щавелевую кислоты и другие химические вещества, под действием которых изменяются характеристики многих материалов. Активно поглощая воду, эти вещества способствуют ускорению процессов коррозии, ухудшают электроизоляционные свойства изоляции, ускоряется процесс коррозии металлов,

разрушаются защитные покрытия, нарушаются контакты, возможны замыкания, пробой и т.п. Появление плесени многократно усиливает воздействие влаги на РЭС.

Идеальные условия для развития плесени: температура +25 .. +35 °С, относительная влажность 80 .. 100 %, неподвижный воздух, отсутствие света (особенно ультрафиолетовой и инфракрасной частей спектра).

Чтобы защититься от плесени необходимо прежде всего устранить условия её образования: протирать места образования, обеспечить проветривание помещения и нормальную освещённость.

Часто причиной коротких замыканий и прочих нарушений работы РЭС служат большие скопления насекомых. **Термиты** (белые муравьи) в некоторых тропических районах попадая в РЭС поедают древесину, картон, бумагу, пластмассы с древесным наполнителем и некоторые другие органические материалы. **Тараканы**, забираясь внутрь РЭС, повреждают изоляцию и нарушают контакты коммутирующих устройств. Среди других видов насекомых наиболее опасна **моль** (повреждает натуральные и искусственные ткани). Выделения термитов, тараканов, красных муравьёв и других насекомых увеличивают проводимость между проводниками, что может привести к нарушению работы РЭС и к коротким замыканиям.

Грызуны повреждают различные РЭС, тару и упаковку, теплоизоляционные материалы, провода в пластмассовой и не армированной резиновой изоляции и т.д. Кроме прямого уничтожения материалов и изделий, грызуны загрязняют их выделениями и шерстью.

Для защиты от насекомых и грызунов используют пропитку фунгицидами, защитную сетку в перфорации корпуса. Следуют по возможности избегать применения органических материалов.

2.6 Анализ радиационных воздействий

Под радиационными воздействиями следует понимать явления или процессы, внешние по отношению к РЭС, которые вызывают или могут вызвать нарушение или потерю их работоспособности в процессе эксплуатации. В состав радиационных факторов входят излучения, создаваемые ядерным взрывом, ядерными силовыми и энергетическими установками, и излучения, существующие в космическом пространстве (в том числе и солнечная радиация).

В первичных космических лучах различают галактические лучи, приходящие извне Солнечной системы, и солнечные лучи, связанные с активностью Солнца.

Солнечная радиация (ультрафиолетовое и инфракрасное излучения, а также излучение в видимой части спектра) активно воздействует на работоспособность РЭС:

- изменяет цвет и структуру поверхностного слоя материалов (каучука, пластмасс, тканей и др.);
- разлагает полимеры, содержащие хлор (например полихлорвинил);
- разрушает лакокрасочные покрытия;
- способствует старению ряда материалов (например пластмасс);
- ускоряет процесс атмосферной коррозии.

Одной из важнейших причин, по которой происходят нарушения работоспособности **РЭС на космических аппаратах**, являются космические лучи — элементарные частицы и ядра атомов, родившиеся и ускоренные до высоких энергий во Вселенной.

Основными источниками радиационной опасности на космических аппаратах являются три наиболее мощных и достаточно хорошо изученных радиационных поля, которые отличаются своим происхождением и состоят из потоков частиц с отличными энергетическими спектрами:

- **галактические космические лучи**, превосходящие по своей проникающей способности все другие виды излучений, кроме нейтрино;
- **солнечные космические лучи** - главный источник мощных потоков корпускулярного и электромагнитного излучений на Земле;
- **радиационные пояса Земли**.

Радиационное воздействие вызывает как немедленную, так и накапливающуюся реакцию элементов, составляющих конструкцию РЭС. Среди существующих видов излучений наибольшую опасность для РЭС представляют рентгеновское излучение и гамма-лучи (длина волн менее 10 нм). Эти виды излучения обладают значительной проникающей и ионизирующей способностью и характеризуются дозой и мощностью излучения.

Наиболее существенное влияние на работоспособность РЭС оказывают вызванные радиационными излучениями пробои *p-n*-переходов у полупроводниковых приборов, расплавление и обрывы токоведущих дорожек, мест пайки (сварки) проводов из-за термо- и электродинамических напряжений, сбои в работе и появление ложных сигналов.

Радиационная обстановка внутри и снаружи космического аппарата зависит от параметров его орбиты, и схема радиационной защиты электропроводки и электронного оборудования должна выбираться с учётом характеристик орбиты. На высотах ниже 450—500 км космонавты и РЭС находятся под защитой радиационных поясов Земли от космических лучей и солнечных протонов. На высотах более 500 км опасны протоны и нейтроны радиационного пояса Земли. На высотах более 30 тыс. км опасны космические лучи.

Наиболее чувствительны к воздействию космической радиации полупроводниковые и оптические материалы, в меньшей степени - полимерные материалы, самую высокую стойкость к воздействию радиации имеют металлы.

В интегральных микросхемах при облучении существенно изменяются характеристики вследствие изменения параметров входящих в них резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов. Так же изменяются изолирующие свойства разделительных *p-n*-переходов, возрастают токи утечки, появляются многочисленные паразитные связи между элементами структуры микросхем, что в результате приводит к нарушению их функционирования.

В современных интегральных схемах с высокой степенью интеграции электрические заряды, управляющие их работой, оказались сопоставимыми с зарядами, образующимися в материале микросхемы при прохождении тяжёлых ядер галактических космических лучей или высокоэнергетических протонов радиационных поясов Земли. Эти внесённые электрические заряды при перемещении их в электрических полях внутри микросхемы и приводят к возникновению сбоев.

При проектировании РЭС стойких к радиационным воздействиям целесообразно учитывать данные о стойкости к ним используемых электрорадиоэлементов.

При разработке РЭС космических аппаратов используются новые стойкие материалы, способные выдерживать нагрузки космических полётов (высокие температуры и давление, вибрационные нагрузки на этапе выведения, низкие температуры космического пространства, глубокий вакуум, радиационное воздействие, микрочастицы и т.д.) и иметь достаточно низкую удельную массу. В качестве конструкционных материалов несущих конструкций РЭС чаще всего используются лёгкие металлы и сплавы и различные композиционные материалы. Например, магниевые сплавы не только являются самым лёгким конструкционным металлом, но и остаются единственным конкурентом конструкционных пластмасс, а также конкурентом алюминиевых среднепрочных сплавов по весовым характеристикам, имея перед ними существенные преимущества:

- высокие удельные прочность и жёсткость, хорошие усталостные свойства;
- стабильность механических свойств и размеров при длительном хранении благодаря отсутствию способности естественно стариться;
- способность работать в широком диапазоне температур: от криогенных (-70 .. -196°C) температур до высоких (кратковременно до 300 .. 350°C, длительно - до 200 .. 250°C);
- высокая демпфирующая способность, хорошее тепловое и противозумное экранирование и др.

Принципиально возможны три варианта защиты РЭС от радиационного излучения [31]:

- **Общая экранировка.** Обеспечивает эффективную защиту, однако увеличивает общую массу и габаритные размеры защитного устройства в целом.
- **Теневая экранировка.** Позволяет уменьшить массу и габаритные размеры, если известно направление потока излучения с определёнными характеристиками (Рис. 2.17).

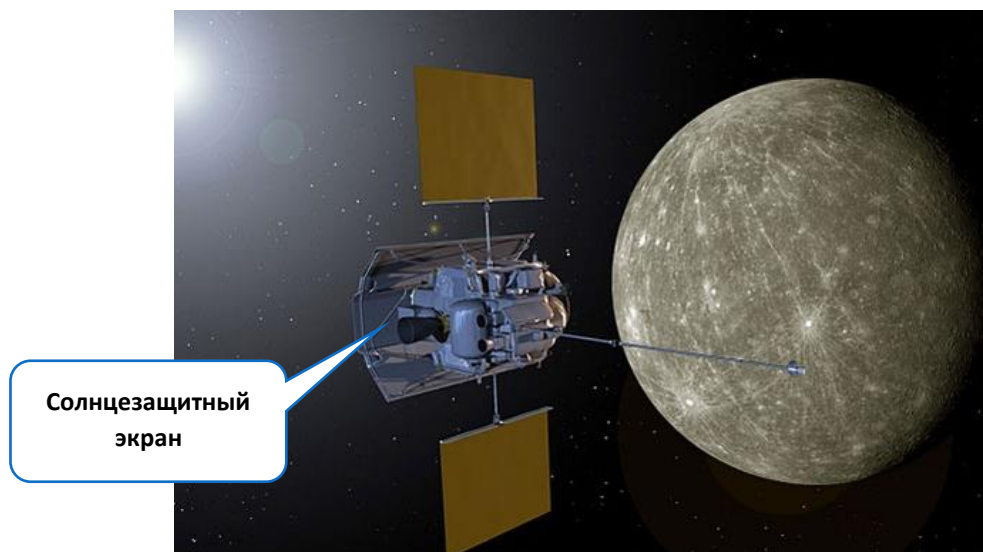


Рис. 2.17 - Космическая станция «Мессенджер». Солнце около Меркурия в 11 раз ярче, чем на околоземной орбите, и температура нагрева корпуса аппарата может достигать 450°C, но благодаря защитному теплоизоляционному щиту, температура эксплуатации Мессенджера находится в пределах комнатной.

Локальная защита. Обеспечивает минимальные массогабаритные характеристики её устройств, однако для её использования необходимо располагать достаточно подробными данными о стойкости защищаемых РЭС и их составных частей.

Бортовая радиоэлектронная аппаратура космических аппаратов в условиях воздействия ионизирующего излучения должна обеспечивать срок активного существования космических аппаратов в течении 10-15 лет, что может быть достигнуто при условии использования радиационно-стойкой элементной базы.

Одна из мер – использование специализированные радиационно-защитных экранов локальной защиты (Рис. 2.18) блоков, узлов и электронных модулей бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов [32].

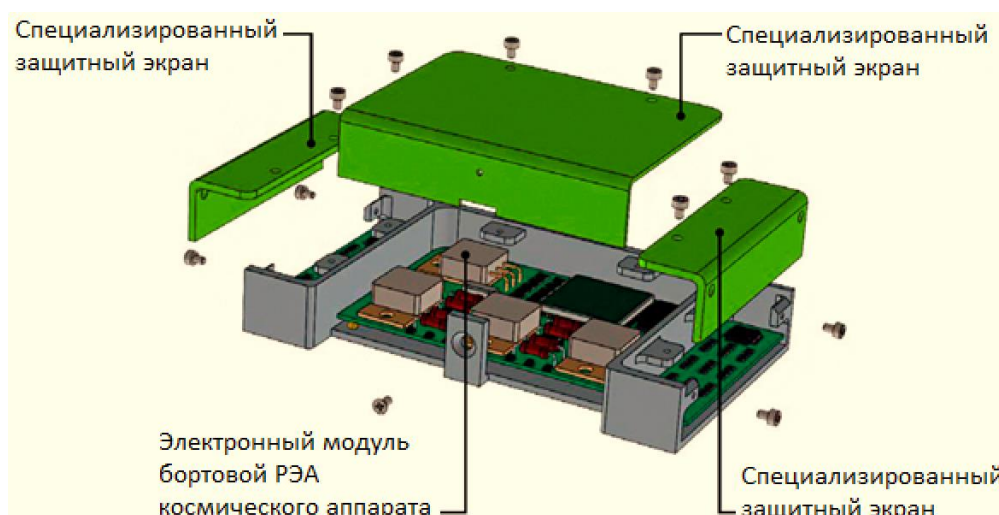


Рис. 2.18 – Локальная конструкционная защита РЭС от электронного и протонного излучения космического пространства

Такие экраны позволяют существенно снизить суммарную накопленную дозу от воздействия электронов и протонов, что позволяет использовать в космических аппаратах электронные компоненты коммерческого уровня качества, имеющие цену на 1-2 порядка ниже, чем на радиационно-стойкую.

Воздействие на РЭС электромагнитных импульсов (ЭМИ) высокой интенсивности. Источниками ЭМИ являются многочисленные электромагнитные факторы естественного и искусственного происхождения: разряды молний и статического электричества, излучения радиолокационных и радиопередающих средств (РЛС и РПС), короткие замыкания в энергетическом оборудовании, в ЛЭП и т.п., стойкость к воздействию которых предусматривается в процессе проектирования современных РЭС [33].

Успехи в создании эффективных источников энергии и развитие новых методов генерирования мощных ЭМИ, имеющих высокую скорость нарастания и большую длительность, привели к созданию в США и России нового электромагнитного оружия (ЭМО), которое предназначено прежде всего для вывода из строя РЭС путём воздействия на уязвимые части РЭС электромагнитными импульсами. Доступность ЭМО или их составных частей на рынке вооружения приведёт к криминальному применению этих средств в процессе конкурентных "разборок", террористических проявлений отдельных групп лиц.

Воздействие электромагнитного оружия вызывает в цепях РЭС импульсы напряжений от 100 до 10000 В, массовые искрения оболочек кабелей на корпус аппаратуры и землю, пробой в разъёмах и воздушных промежутках между составными частями конструкции РЭС. Поражающее свойство ЭМО усиливается в несколько раз при неправильном проектировании РЭС: использовании внешних электромагнитных экранов с острыми углами, выступающих частей и локальных неоднородностей, нерациональной разводки внешних кабелей, внутренних цепей, систем заземления.

Защита РЭС от воздействия электромагнитного оружия выполняется методами рационального конструирования с использованием известных методов экранирования, ограничением уровней помех в цепях, применением различных систем заземлений и т.п. Для защиты РЭС от воздействий ЭМИ и разрядов молний может быть применено устройство экранирования аппаратуры с нелинейными свойствами – пропускающими слабый сигнал и экранирующий ЭМП высокой интенсивности (А.С. N 999185 от 20.03.81 г.). С этой же целью для повышения эффективности экранирования от ЭМИ разрабатываются также композиционные материалы с внутренним барьерным слоем, обладающим нелинейными свойствами.

2.7 Анализ механических воздействий

В процессе транспортирования и эксплуатации РЭС подвергается воздействию **внешних механических воздействий** (ударов, вибраций, линейных ускорений), возникающих из-за наличия неуравновешенных подвижных масс при передвижении по дорогам, при посадках самолётов и вертолётов, вибраций движущихся частей двигателей, при стрельбе из оружия, изменении скорости движения, падениях, при аэродинамических и гидродинамических воздействиях окружающей среды (ветер, волны, снежные лавины, землетрясения, обвалы) и т.д.

Значительные внешние механические воздействия могут вызвать существенное усложнение конструкции РЭС, так как в их элементах возникают статические и динамические деформации. Это способствует порче как отдельных частей конструкции, так и конструкции РЭС в целом (даже полного её разрушения).

Повышенные деформации могут нарушить нормальную работу РЭС задолго до возникновения опасных для прочности напряжений (порча резьбовых соединений, паек выводов, сварки, обрыв печатных проводников, нарушение изоляции кабелей, смещение ЭРЭ и т. д.). Из-за механических воздействий возможно нарушение герметичности РЭС из-за разрушения паяных, сварных и клеевых швов и появления трещин в металлостеклянных спаях.

Механические воздействия могут проявляться как на месте установки РЭС, так и при их транспортировании. Устранение влияния первой группы механических воздействий обеспечивается конструкцией РЭС, а второй – ещё и рациональным проектированием упаковки.

2.7.1 Характеристика механических воздействий

На любой элемент конструкции, представляющей собой колебательную систему, имеющую сосредоточенную и распределённую нагрузку и определённый вид закрепления концов, действует сила

$$F = m \cdot a$$

где m - масса элемента конструкции; a - ускорение.

Характер и интенсивность возможных механических воздействий оценивают степенями **жёсткости**⁹, оговорёнными в [27,34] (см. Таблица 2.8). Особенно большое значение имеет жёсткость для авиационных, ракетных и других РЭС, при проектировании которых надлежит обеспечивать минимальные массогабаритные показатели. Стараясь облегчить конструкцию и максимально использовать прочностные свойства материалов, конструктор вынужден повышать напряжения, что приводит к увеличению деформаций.

Удары возникают при резком изменении ускорения и характеризуются количественно ускорением (от десятков до тысяч g^{10}), длительностью (от долей до десятков миллисекунд) и числом ударов (одиночные и многократные удары). При ударах возможно разрушение деталей и узлов в местах крепления.

Линейные ускорения действуют на РЭС, размещённые на подвижных объектах (автомобилях, самолётах, ракетах и т.п.), движущихся с ускорением (например, при разгоне и торможении), а также при движении по криволинейной траектории (центробежное ускорение). Линейные ускорения характеризуются ускорением в единицах g и длительностью воздействия.

Отношение силы F , появляющееся в результате воздействия ускорения, к силе тяжести P называют перегрузкой:

$$G = F/P.$$

Значение перегрузки G показывает, во сколько раз дополнительная сила F больше силы тяжести P , действующей на РЭС. Если известна перегрузка, то появляющаяся при этом сила может быть вычислена по формуле:

$$F = P \cdot G.$$

В общем случае каждый элемент конструкции РЭС представляет собой колебательную систему, имеющую сосредоточенную и распределённую нагрузку. Эта система колеблется относительно точек крепления.

Вибрации представляют собой механические колебания, характеризующиеся диапазоном частот и величиной ускорения (в единицах g). Свойство РЭС противодействовать их влиянию характеризуется **вибропрочностью** (способностью конструкции РЭС противостоять разрушающему воздействию вибрации в нерабочем состоянии и продолжать нормально работать после включения и снятия вибрационных нагрузок) и **виброустойчиво-**

⁹ **Жёсткость** – способность РЭС сопротивляться действию внешних нагрузок с деформациями, допустимыми без нарушения работоспособности.

¹⁰ g - ускорение свободного падения на поверхности Земли. Стандартным («средним») значением считается $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$.

стью (способностью РЭС выполнять заданные функции во включённом состоянии в условиях воздействия вибраций.). **Вибропрочное** и **ударопрочное** РЭС должно противостоять разрушающему действию длительной вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений, а также действию ударов заданной силы и длительности и способно после этого нормально выполнять свои функции.

Акустический шум. На РЭС, размещаемые поблизости от работающих двигателей ракет, самолётов, кораблей, автомобилей и железнодорожного транспорта, немаловажное влияние может оказывать **акустический шум**, который характеризуется спектром звуковых частот, давлением звука, мощностью колебаний источника звука, силой звука.

Если на аппарат воздействует синусоидальная вибрация, то перегрузка

$$G \approx 0.004 \cdot A \cdot f^2,$$

где A - амплитуда вибрации, мм; f - частота вибрации, Гц.

Особенно опасен механический **резонанс**, когда частота вынуждающего колебания совпадает с частотой собственных механических колебаний конструкции РЭС или отдельных её элементов. При эксплуатации РЭС на подвижных транспортных средствах внешние вибрации могут вызвать резонансные колебания, усиливающие механические нагрузки в несколько раз, что может вызвать отказы в работе и даже полное разрушение РЭС из-за взаимного перемещения отдельных элементов конструкции.

Заметим, что акустический шум заставляет вибрировать в равной степени практически все элементы конструкции, в то время как ударные и вибрационные нагрузки воздействуют на элементы конструкции РЭС *через их точки крепления*. В результате этого действие влияния ударных и вибрационных нагрузок зависит от положения точек крепления элементов конструкции относительно направления их воздействия. Таким образом, результат действия акустического шума часто может быть даже более разрушительным, чем действие ударных и вибрационных нагрузок.

Основными конструкторскими методами защиты конструкции РЭС от заданных механических воздействий является выбор оптимальных конструкторских решений. Так, причиной сбоев и отказов в работе РЭС подвижных объектов может быть неправильный выбор несущих конструкций [35]: отсутствие амортизаторов, дополнительных элементов крепления, недостаточная жёсткость и т.п. Нужно найти способы повышения жёсткости элементов конструкции и подобрать материалы с соответствующей прочностью и жёсткостью.

Для обеспечения надёжной работы РЭС в условиях механических воздействий, необходимо продумать и выбрать правильную ориентацию элементов на печатной плате (с учётом ориентации платы в блоке), способы дополнительного крепления ЭРЭ, материалы основания, габариты печатной платы и т.д.

Для разрабатываемой РЭС непременно должна предусмотрена надёжная конструкция элементов крепления, определены способы предохранения крепёжных изделий от самоотвинчивания (Рис. 2.19).

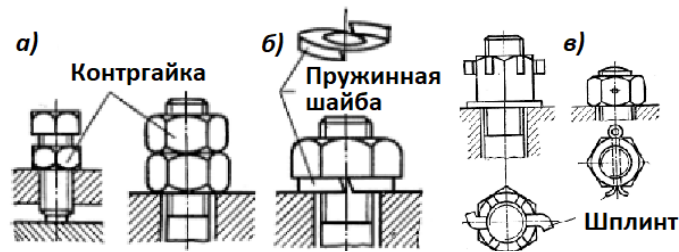


Рис. 2.19 - Предохранения крепёжных изделий от самоотвинчивания: а) - повышают трение в резьбе установкой контргайки, б) - пружинной шайбы, в) - гайку жёстко соединяют со стержнем винта, например, с помощью шплинта

Важнейшей мерой защиты конструкции РЭС от вибрации, ударов и ускорений является применение (при необходимости) амортизаторов – демпферов¹¹ [36]. При этом следует избрать тип амортизаторов, их количество и схему размещения (Рис. 2.20).



Рис. 2.20 - Демпферы для РЭС: а) - ножки; б) - амортизаторы

Для подтверждения работоспособности подобных конструкций необходим расчёт динамики [36], в ходе которого надлежит обеспечить такие их резонансные характеристики, при которых в заданный диапазон рабочих частот корпуса РЭС не попадали бы резонансные частоты элементов конструкции.

2.7.2 Параметры эксплуатационных воздействий для РЭС различных групп

Стационарные РЭС. Особенности:

- их работа происходит в помещениях с нормальными климатическими условиями;
- незначительные механические перегрузки во время работы;
- ограничения на габариты и массу любой части РЭС, определяемые удобством транспортирования, выгрузки, передвижения внутри помещения и т.п.

Обычным источником вибраций для стационарных РЭС являются внутренние источники: вентиляторы, мощные преобразователи напряжения, вращающиеся антенные устройства и т.п. В первую очередь при разработке конструкции стационарных РЭС следует выделить источники вибрации и элементы, чувствительные к ним, чтобы затем принять компетентные решения при компоновке. Наиболее лёгкие режимы работы у стационарных

¹¹ **Демпфер** (от нем. *Dämpfer* — амортизатор) - устройство для гашения (демпфирования) колебаний, возникающих в машинах, приборах или системах при их работе.

РЭС группы **С1** (см. Таблица 2.7), эксплуатируемых в отапливаемых помещениях, и это упрощает их конструкцию.

Не следует забывать, что на стационарную аппаратуру вибрации и удары действуют при транспортировке.

Таблица 2.14 представляет типовые параметры эксплуатационных воздействий на стационарную сухопутную аппаратуру подвижной радиосвязи групп **С1** и **С2**.

Таблица 2.14 - Параметры эксплуатационных воздействий на стационарную сухопутную аппаратуру подвижной радиосвязи [27]

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора		Значение воздействующего	
			С1	С2
1. Синусоидальная вибрация	Диапазон частот, Гц		10 ... 70	
	Амплитуда ускорения, м/с ² (g)		19,6 (2)	
	Длительность вибраций, мин		90	
2. Механические удары при транспортировании	Пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)		147 (15)	
	Длительность удара, мс		6	
	Число ударов в каждом направлении		4000	
3. Пониженная температура для исполнения по степени жёсткости (см. 2.3)	1	Рабочая температура, °С	+5	-25
		Предельная температура, °С	-40	
		Время выдержки при каждой температуре, час	2	
	2	Рабочая температура, °С	+5	-40
		Предельная температура, °С	-55	
		Время выдержки при каждой температуре, час	2	
4. Повышенная температура	Рабочая температура, °С		+40	+55
	Предельная температура, °С		+55	

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора		Значение воздействующего	
			C1	C2
5. Изменение температуры для исполнения по степени жёсткости (число циклов – 3, время выдержки в камере – 3 час)	1	Диапазон изменения температуры, °С	-	-40 ... +55
	2	Диапазон изменения температур °С	-	-55 ... +55
6. Пониженное атмосферное давление (время выдержки в камере – не менее 1 час)	Атмосферное давление, кПа		55	
7. Влажность при повышенной температуре в постоянном режиме для исполнения по степени жёсткости	1	Относительная влажность, %	-	93
		Температура, °С	-	25
	2	Относительная влажность, %	-	93
		Температура, °С	-	40
8. Соляной туман*	Длительность воздействия соляного тумана, ч		2	
9. Пыль и песок*	Соотношение песка и пыли		-	1:1
	Длительность воздействия, час		-	1
	Температура, °С		-	35
10. Иней и роса*	Температура, °С		-	-25
	Длительность воздействия, час		-	2

Примечание. Знак «-» означает, что требования не предъявляются, знак «*» - требования предъявляются, если они установлены в ТУ на аппаратуру конкретного назначения

РЭС для подвижных объектов. При конструировании РЭС для подвижных объектов (мобильные связные, радиолокационные и пеленгаторные станции, диспетчерские станции различных предприятий, железнодорожный транспорт, передвижные телевизионные студии, автомобильные приёмники и навигаторы и т.д.) следует предусмотреть:

- предохранение от сильного запыления и абразивного воздействия частиц песка и пыли;
- защиту от действия избыточной влажности;
- повышенную защиту от вибраций и ударов, включая необходимость работы в условиях механических воздействий.
- возможность лёгкого расчленения на части с целью погрузки и разгрузки силами двух человек.

При разработке конструкции РЭС, размещаемой на движущемся транспорте важно определить направления, по которым воздействуют механические нагрузки, что позволяет выработать рекомендации по компоновке РЭС.

Для возимой сухопутной аппаратуры, размещаемой на автомобильном и железнодорожном транспорте, направление вибраций чаще всего вертикальное, а ударов и ускорений - в направлении движения. Для корабельных РЭС главное направление практически всех видов механических воздействий - горизонтальное, а для ударных - и вертикальное. Для авиационных РЭС направление вибраций и ударов при движении по земле, как правило, вертикальное, а для всех механических воздействий в полете - горизонтальное.

Таблица 2.15 представляет типовые параметры эксплуатационных воздействий для возимых РЭС групп В3 – В5 (см. Таблица 2.7).

Таблица 2.15 – Типовые параметры эксплуатационных воздействий на возимую сухопутную аппаратуру подвижной радиосвязи [27]

Воздействующий фактор		Характеристика воздействующего фактора	Значение воздействующего фактора для аппаратуры		
			В3	В4	В5
1. Синусоидальная вибрация		Диапазон частот, Гц	10 .. 70		10 .. 100
		Амплитуда ускорения, м/с ²	19,6	39,2	
2. Механические удары	При эксплуатации	Пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)	98 (10)	147 (15)	250 (25)
		Длительность удара, мс	16	10	6
		Число ударов в каждом направлении	1000		
	При транспортировании	Пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)	250 (25)		
		Длительность удара, мс	6		
		Число ударов в каждом направлении	4000		
3. Пониженная температура для исполнения по степени жёсткости	1	Рабочая температура, °С	-10	-25	
		Предельная температура, °С	-40		
	2	Рабочая температура, °С	-10	-40	
		Предельная температура, °С	-55		
4. Повышенная температура	Рабочая температура, °С		+55		
	Предельная температура, °С		+55	+65	
5. Изменение температуры для исполнения по степени жёсткости	1	Диапазон изменения температуры, °С	-40 .. +55	-40 .. +65	-40 .. +55
	2	Диапазон изменения температур, °С	-55 .. +55	-55 .. +65	-55 .. +55
6. Пониженное атмосферное давление*		Атмосферное давление, кПа	55		
7. Влажность при повышенной температуре в постоянном режиме для исполнения по сте-	1	Относительная влажность, %	93		
		Температура, °С	25		
	2	Относительная влажность, %	93		
		Температура, °С	40		

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение воздействующего фактора для аппаратуры		
		В3	В4	В5
8. Соляной туман*	Длительность воздействия соляного тумана, час	2		
9. Пыль и песок*	Соотношение песка и пыли	-	1:1	-
	Длительность воздействия, час	-	1	-
	Температура, °С	-	35	-
10. Атмосферные выпадаемые осадки (дождь)*	Интенсивность дождя, мм/мин	3		
	Длительность воздействия, мин	10		
11. Иней и роса*	Температура, °С	-25		
	Длительность воздействия, час	2		
Примечание. Знак «-» означает, что требования не предъявляются, знак «*» - требования предъявляются, если они установлены в ТУ на аппаратуру конкретного назначения				

Носимые РЭС. Носимые (портативные) РЭС (приёмная и радиопередающая аппаратура, телефоны, небольшие измерительные и медицинские приборы и т.п.) характеризуются размещением их на человеке и необходимостью защиты от случайных значительных ударов, неизбежных в полевых условиях. Физические возможности одного человека позволяют носить продолжительное время за плечами 10 кг, на ремне через плечо 3 кг, в кармане 0,7 кг.

Для носимых РЭС присуща высокая зависимость конструкции от габаритов и массы источников питания. Кроме общих климатических требований, при работе носимой РЭС добавляются усложнённые условия в холодное время года (Таблица 2.16), связанные с конденсацией росы в результате отпотевания при внесении с холодного воздуха в тёплое помещение, поэтому носимое РЭС для полевых условий обычно выполняют в герметичном корпусе. Таким образом, носимые РЭС должны иметь малые габариты, незначительную мощность потребления, высокую надёжность и сравнительно небольшую стоимость.

Таблица 2.16 – Типовые параметры эксплуатационных воздействий **на носимую сухопутную аппаратуру подвижной радиосвязи [3]**

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение	
		Н6	Н7
1. Синусоидальная вибрация	Диапазон частот, Гц	10 .. 70	
	Амплитуда ускорения, м/с ²	39,2	19,6
2. Механические удары	При эксплуатации	Пиковое ударное ускорение,	98 (10)
		Длительность удара, мс	16
		Число ударов в каждом направ-	1000
	При транспортировании	Пиковое ударное ускорение,	250 (25)
		Длительность удара, мс	6
		Число ударов в каждом направ-	4000

Воздействующий фактор		Характеристика воздействующего фактора	Значение	
			H6	H7
3. Свободное падение	Высота падения, мм, при массе, кг	до 2	1000	
		до 5	500	
		до 10	-	250
4. Пониженная температура для исполнения по степени жёсткости	1	Рабочая температура, °C	+5	-10
		Предельная температура, °C	-40	
	2	Рабочая температура, °C	-10	-25
		Предельная температура, °C	-55	
5. Повышенная температура		Рабочая температура, °C	+40	+50
		Предельная температура, °C	+55	
6. Изменение температуры для исполнения по степени жёсткости	1	Диапазон изменения температур, °C	-40 .. +55	
	2	Диапазон изменения температур, °C	-55 .. +55	
7. Пониженное атмосферное давление*		Атмосферное давление, кПа	55	
8. Влажность при повышенной температуре в постоянном режиме для исполнения по степени жёсткости	1	Относительная влажность, %	93	
		Температура, °C	25	
	2	Относительная влажность, %	93	
		Температура, °C	40	
9. Соляной туман*		Длительность воздействия со-	2	
10. Пыль и песок*		Соотношение песка и пыли	-	1:1
		Длительность воздействия, час	-	1
		Температура, °C	-	35
11. Погружение в воду*		Глубина погружения, м	0,5	0,4
		Длительность воздействия, час	1,0	0,5
12. Атмосферные выпадаемые осадки (дождь)*		Интенсивность дождя, мм/мин	3	
		Длительность воздействия, мин	10	
13. Иней и роса*		Температура, °C	-25	
		Длительность воздействия, час	2	

Примечание. Знак «-» означает, что требования не предъявляются, знак «*» - требова-

Бортовые РЭС. В очень жёстких условиях обыкновенно работают бортовые авиационные и космические РЭС (Таблица 2.17). Специфическими особенностями таких РЭС являются действие на них совокупности жёстких внешних факторов (быстрая смена температур и вибраций, аэродинамических и радиационных воздействий в широком диапазоне), которые действуют одновременно, что приводит к отказам системного характера.

Таблица 2.17 - Типовые параметры эксплуатационных воздействий на бортовые РЭС

Воздействующий фактор		Авиаци- онная	Аварий- ная	Ракетная		Космичес- кая
				Большая	малая	
Вибрации :	диапазон частот, Гц	5 .. 2000	10 .. 70	10 .. 3000	50 .. 5000	1,5 .. 2500
	перегрузки, м/с	0,15 .. 25		до 400	до 300	5 .. 60
Удары:	длительность , мс	15		10...12	10...12	-
	число ударов	18	500			
	перегрузки, м/с	50 .. 300	750	500	1000	
Линейное ускорение, м/с		до 50		50 .. 150	300..500	до 150
Диапазон акустических воздействий, Гц		50 .. 10000	-	50 .. 10000		-
Звуковое давление, дБ (Вт/м ²)		до 170 (10 ⁵)		до 200 (10 ⁸)	до 190 (10 ⁷)	до 190 (10 ⁷)
Диапазон температур, °С		-70 .. +295	-70 .. +35	-65 .. +165		-
Пониженное давление, х10 Па		2 .. 100		0,13 .. 100		

Очевидно, что при проектировании бортовых РЭС из экономических соображений необходимо стремиться к минимизации их габаритов и массы.

Значительная часть бортовых РЭС (в том числе и космических) работает в условиях разреженной атмосферы – вне герметичного отсека. Температура летательных аппаратов изменяется в широких пределах (см. табл. 2.7). Это приводит к тепловым ударам, что крайне неблагоприятно сказывается на работе бортовых РЭС и их надёжности.

Успех космических и авиационных полётов во многом определяются безотказностью работы РЭС. Практически любые затраты на повышение показателей надёжности будут оправданы, если это связано с жизнью людей. Нередко восстановление бортовых РЭС в процессе эксплуатации практически нереально, так как они контролируются, диагностируются и ремонтируются только в специализированных предприятиях. Поэтому многие бортовые РЭС должны иметь резервирование. Резервирование может включаться как автоматически, так и экипажем.

Специальные требования предъявляются к РЭС космической технике:

- эта аппаратура необслуживаемая, а эксплуатироваться должна несколько лет;
- в контейнере космического аппарата размещены множество разнообразных РЭС, что требует решения острой проблемы обеспечения электромагнитной совместимости;
- значительная цикличность изменения температуры приводит к тепловым ударам;
- велика опасность воздействия радиации;

- аппаратура работает в вакууме или в условиях атмосферы с постоянным газовым составом низкой влажности;
- аппаратура работает в условиях невесомости (отсутствует естественная конвекция);
- большие механические нагрузки во время старта и практически полное их отсутствие во время работы.

Таким образом, при конструировании бортовых РЭС важно обеспечить повышенную надёжность, высокую контролепригодность¹², а если возможно присутствие человека, то и быструю техническую диагностику, лёгкость узлов РЭС и возможность ремонта с использованием типовых элементов замены.

Особенности эксплуатации морских РЭС. Морская среда, окружающая судно, является постоянно действующим фактором, активизирующим разрушительные физико-химические процессы, протекающие при воздействии влаги на металлические и изоляционные материалы, входящие в состав РЭС. Основные проблемы связаны с комплексным воздействием климатических и механических факторов: 100% -я влажность при повышенной температуре и солевом тумане в сочетании с непрерывной вибрацией от двигателей и прочих механизмов, ударными перегрузками и линейными ускорениями от волн и качки. Во время штормов и в аварийных ситуациях возможно прямое воздействие воды, и на этот случай должна обеспечиваться водозащищённость и брызгозащищённость.

При разработке РЭС, устанавливаемых на морских судах (особенно в тропическом исполнении) необходимо предусматривать коррозионную стойкость и плеснестойкость.

Длительное автономное плавание с отрывом от ремонтных баз обязывает предусмотреть возможность ремонта РЭС без захода на ремонтную базу на месте установки при минимальном количестве персонала и ограниченных контрольно-измерительных и ремонтных средствах.

На военных судах, имеющих ракетное, торпедное или артиллерийское вооружение, надлежит предусмотреть защиту от ударов и ускорений, возникающих при стрельбе. Кроме того, следует позаботиться о защите разрабатываемых РЭС от сильных акустических, электромагнитных и радиационных воздействий, возникающих вследствие работы бесчисленных видов РЭС, а также работы гидроакустических станций.

При размещении судовых и корабельных РЭС одной из самых сложных задач является обеспечение электромагнитной совместимости [37].

Радиолокационные установки, устройства передачи сигналов бедствия и т.п. должны сохранять работоспособность в случае повреждения самого судна или корабля в результате столкновения или других аварийных ситуаций.

Бытовые РЭС. Условия эксплуатации бытовых РЭС считаются наиболее лёгкими, так как бытовые РЭС менее других подвержены механическим и климатическим воздействиям.

¹² **Контролепригодность** - свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению диагностирования (контроля) заданными средствами диагностирования (по ГОСТ 20911-89).

Бытовые РЭС характеризуются:

- возможностью эксплуатации абсолютно неподготовленным человеком;
- повышенными требованиями к безопасности эксплуатации;
- улучшенной эстетикой внешнего вида, удобством размещения;
- повышенными аудио и видео параметрами;
- определяющим значением стоимости;
- массовостью производства и, следовательно, высокой технологичностью.

По условиям эксплуатации бытовая радиоэлектронная аппаратура [38] подразделяется на четыре группы (Таблица 2.18), а рекомендованные нормы климатических и механических воздействий для неё представляет Таблица 2.19.

Таблица 2.18 - Группы бытовых РЭС по условиям эксплуатации

Группа РЭС	Условия эксплуатации	Категория исполнения по ГОСТ 15150-69
I	В жилых помещениях	4.2
II	В транспортных средствах (встроенная)	2.1
III	На открытом воздухе, не рассчитанная для работы в условиях движения	1.1
IV	На открытом воздухе, в том числе в условиях движения (на ходу, в салоне автомобиля, катера и т. д.)	

Таблица 2.19 – Типовые нормы климатических и механических воздействий для бытовой радиоэлектронной аппаратуры (ГОСТ 11478-88 [38])

Параметры		I группа	II группа	III и IV группы
Отсутствие резонансов:	диапазон частот f , Гц	-	10 .. 55	-
	амплитуда, мм	-	0,15	-
Устойчивость к синусоидальным вибрациям:	диапазон частот f , Гц	-	10 .. 150	-
	амплитуда a , м/с ²	-	19,6	-
Прочность при синусоидальных вибрациях:	диапазон частот f , Гц	10 .. 150	10 .. 150	10 .. 150
	амплитуда a , м/с ²	19,6	19,6	19,6
Прочность при механических ударах:	длительность X_u , мс	-	16	11
	частота следования f , мин ⁻¹	-	60 .. 120	-
	амплитуда a , м/с ²	-	98	147
Устойчивость к механическим ударам:	длительность X_u , мс	-	16	11
	частота следования f , мин ⁻¹	-	60 .. 120	-
	амплитуда a , м/с ²	-	98	147

Параметры		I группа	II группа	III и IV группы
Прочность при транспортировании:	длительность X_u , мс	11	11	11
	частота следования f , мин ⁻¹	60 .. 120	60 .. 120	60 .. 120
	амплитуда a , м/с ²	147	147	147
Воздействие температуры:	пониженной, °С	-40	-40	-40
	повышенной, °С	55	55	55
Воздействие пониженного атмосферного давления:	кПа	70	70	70
	мм рт. ст.	525	525	525
Воздействие воздушно-пылевого потока:	скорость v , м/с	0,5 .. 1	0,5 .. 1	0,5 .. 1
Воздействие повышенной влажности:	относительная влажность, %	-	-	93
	при температуре, °С	-	-	25
Воздействие соляного (морского) тумана:		Нет	Нет	Есть

Таблица 2.20 характеризует необходимую прочность бытовых РЭС всех групп исполнения при их испытании на падение с определённой высоты.

Таблица 2.20 – Зависимость допустимой высоты падения бытовых РЭС от их массы

Масса изделия, кг	Высота падения, мм
до 2.0	1000
3.0 .. 5.0	500
5.0 .. 10.0	250
10.0 .. 50.0	100
более 50	50

2.8 Анализ безопасности эксплуатации

В конструкции РЭС должны быть предусмотрены специальные меры по технике безопасности, исключающие возможность несчастных случаев.

При эксплуатации РЭС имеют место следующие факторы опасности и вредности для здоровья оператора.

2.8.1 Опасность поражения электрическим током

Если в РЭС присутствуют электрические напряжения 36 В и более, то существует опасность поражения оператора электрическим током.

В настоящее время существует несколько общепризнанных стандартов, которые используют западные (а в наше время и отечественные) производители для характеристики степени защиты от внешних воздействий на электрооборудование.

Система классификации IP (англ. *Ingress Protection - Защита от проникновения посторонних сред*) указывает степень защиты, обеспечиваемой корпусом (оболочкой). Она рекомендована в стандарте МЭК 60529 (аутентичный текст ГОСТ 14254-96 [39]) ведущей Международной Электротехнической комиссией (англ. *IEC - International Electrotechnical Commission*) и применяется в большинстве стран мира.







Показатель **IP** означает степень защиты, обеспечиваемой оболочкой от проникновения твёрдых предметов (включая защиту людей от доступа к опасным частям изделий и защиту электрооборудования внутри оболочки от попадания посторонних твёрдых предметов) и от проникновения воды (защиту электрооборудования внутри оболочки от вредных воздействий в результате проникновения воды). Кроме того, стандарт ГОСТ 14254-96 устанавливает методы и режимы контроля и испытаний для проверки оболочек электрооборудования на соответствие установленной степени защиты.









Требования в части стойкости оболочек и электрооборудования в целом к другим внешним воздействующим факторам, кроме внешних твёрдых предметов и воды, а также защиты от соприкосновения с опасными движущимися частями, расположенными вне оболочки, устанавливаются по другим соответствующим стандартам.

Структура кода: **IPXXAA**, где **XX** – две цифры (присутствуют всегда), **AA** – две латинские буквы (могут отсутствовать). Первая цифра кода **IP** показывает степень защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями и от соприкосновения с движущимися частями, расположенными внутри оболочки. Вторая цифра кода **IP** показывает степень защиты от проникновения влаги.

Таблица 2.21 представляет значения цифр кода **IP**.

Таблица 2.21 - Значения цифр кода **IP** по ГОСТ 14254-96 (МЭК 60529)

Первая цифра кода	Защита от механических повреждений	Вторая цифра кода	Степень защиты оборудования от попадания влаги
0	Защита отсутствует.	0	Защита отсутствует.
1 	Защита от проникновения крупных инородных тел диаметром более 50 мм, а также от прикосновения больших поверхностей тела (например, рук). Защиты от сознательного контакта нет	1 	Защита от капель воды. Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредное воздействие на изделие.
2 	Защита от проникновения внутрь оболочки к токоведущим и движущимся частям пальцев или предметов длиной более 80 мм и от проникновения твёрдых тел размером свыше 12 мм.	2 	Защита от капель воды, падающих на оболочку при наклоне 15°. Капли не должны оказывать вредное воздействие на изделие.
3 	Защита от проникновения внутрь оболочки к токоведущим и движущимся частям инструментов, проволоки и т.д. диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твёрдых тел размером более 2,5 мм. Инструменты, кабели и т. п.	3 	Защита от дождя. Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие, находящееся под оболочкой.

Первая цифра кода	Защита от механических повреждений	Вторая цифра кода	Степень защиты оборудования от попадания влаги
4 	Защита от проникновения внутрь оболочки к токоведущим и движущимся частям проволоки и других предметов толщиной более 1 мм и от проникновения твёрдых тел размером более 1 мм. Большинство проводов, болты и т. п.	4 	Защита от брызг, падающих под любым углом. Брызги не должны оказывать вредного воздействия на изделие, находящееся под оболочкой.
5 	Полная защита персонала от случайного соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, находящимися под оболочкой; пылезащищённое исполнение - проникновение пыли внутрь не предотвращено полностью, однако пыль не может проникать в количестве достаточном для нарушения работы изделия.	5 	Защита от водяных струй. Струя воды, которая выбрасывается в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие.
6 	Полная защита персонала от случайного соприкосновения с токоведущими и движущимися частями и полная защита от проникновения пыли (пыленепроницаемое исполнение).	6 	Защита от воздействий, характерных для палубы корабля (включая палубное водонепроницаемое оборудование).
	Не предусмотрена	7 	Защита при погружении в воду. Вода не должна проникать в оболочку, погружённую в воду, при определённых условиях давления и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия.
	Не предусмотрена	8 	Защита при длительном погружении в воду. Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем.

Например, класс защиты *IP65* - Полная защита от пыли, защита от водяных струй в любом направлении.

Нередко защита от попадания жидкостей автоматически обеспечивает и защиту от проникновения. Например, устройство, имеющее защиту от жидкости на уровне 4 (прямое разбрызгивание) автоматически будет иметь защиту от попадания посторонних предметов на уровне 5.

Таблица 2.22 знакомит с возможными значениями дополнительных букв в конце кода *IP*.

Таблица 2.22 - Возможные значения букв в конце кода *IP*

Первая дополнительная буква указывает возможность проникновения к опасным частям прибора различными предметами		Вторая буква используется для сообщения дополнительной информации	
A	тыльной стороной руки	H	Высоковольтная аппаратура
B	пальцем	M	Во время испытаний защиты от воды устройство движется
C	инструментом	S	Во время испытаний защиты от воды устройство неподвижно
D	проволокой	W	Защита от погодных условий

Менее популярный у нас стандарт **Национальной ассоциации производителей электрического оборудования США NEMA** (от англ. *National Electrical Manufacturer Association*) показывает, в какой среде может работать устройство [40]. Этот стандарт несколько шире рассматривает проблему защиты оборудования и используется главным образом в Соединённых Штатах и Канаде. Тем не менее, для выбора необходимого оборудования руководствоваться стандартами **NEMA** даже несколько проще.

В отличие от международного стандарта МЭК 60529, стандарт **NEMA** учитывает такие влияющие факторы, как коррозионная стойкость, стойкость к воздействию нефтепродуктов, возможность работы вне помещения и опасных местах размещения и др.

Таблица 2.23 расшифровывает некоторые классы стандарта **NEMA**.

Таблица 2.23 - Классификация защищённости корпусов электронного оборудования по стандарту **NEMA** и его примерное соответствие степеням защиты *IP*

Класс NEMA	Классификация защищённости корпусов электронного оборудования	Эквивалентный класс IP
1	Корпус общего назначения (шкаф, панель, бокс, коробки) общего назначения для установки только в помещении. Случайный контакт персонала с электрооборудованием исключается и обеспечивается защита от ограниченного количества грязи и слабых брызг	IP20
2	Брызгозащитный корпус, устанавливаемый в помещении. Обеспечивает достаточную защиту от небольшого количества падающей воды или грязи.	IP21
3	Корпус защищён от пыли, дождя, мокрого снега, устойчив к обледенению, устанавливается вне помещения.	IP64
3R	Водонепроницаемый корпус для работы вне помещений. Обеспечивает достаточную защиту от дождя, мокрого снега, образования наледи в условиях, когда необходимо функционирование подвижных частей.	IP34

Класс NEMA	Классификация защищённости корпусов электронного оборудования	Эквивалентный класс IP
3S	Водонепроницаемый корпус для работы вне помещений, отличающийся коррозионной стойкостью и допускающий кратковременное погружение. Защищён от воздушной пыли, дождя, мокрого снега, устойчив к обледенению (в том числе и подвижные части)	IP64
4	Пылевлагодонепроницаемый корпус. Устанавливается в помещении и вне его. Обеспечивает достаточный уровень защиты от воздушной и водяной пыли, брызг и струй воды	IP56, IP65, IP66
4X	Пылевлагодонепроницаемый корпус, устойчив к коррозии. Устанавливается в помещении и вне его. Обеспечивает достаточный уровень защиты от коррозии, воздушной и водяной пыли, брызг и струй воды	IP56, IP65, IP66
5	Корпуса, предназначенные для установки в помещениях и обеспечивающие достаточный уровень защиты от пылевой взвеси, попадания грязи и каплюющей неагрессивной жидкости.	IP52
6	Корпус предназначен для использования в помещении и вне его, Защищён от пыли, воды при случайном погружении на небольшую глубину, мокрого снега, устойчив к обледенению.	IP66, IP67
6P	Корпус предназначен для использования в помещении и вне его. Защищён от пыли, воды при продолжительном погружении на небольшую глубину, мокрого снега, устойчив к обледенению.	IP66, IP67
7, 8, 9, 10, 11	Группа нормативов, регламентирующих применения оборудования для опасных зон.	
12	Пыле и каплезащищённые корпуса для промышленного применения в помещении. Обеспечивает достаточный уровень защиты от пыли, падения грязи и каплюющей неагрессивной жидкости.	IP52
12K	Пыле и каплезащищённые корпуса с заглушками для промышленного применения в помещении. Обеспечивает достаточный уровень защиты от пыли, падения грязи и каплюющей неагрессивной жидкости.	IP52
13	Пыле и масло-защищённые корпуса для промышленного применения в помещении. Обеспечивает достаточный уровень защиты от пыли, падения грязи и распылённой воды, нефтепродуктов, неагрессивной смазочно-охлаждающей жидкости.	IP52, IP54

Для многих изделий, предлагаемых на российском рынке, параметры защиты специфицируются по **военному стандарту США MIL-STD 810F/G** (англ. *Military Standard, MIL*) [41], в который входит множество разнообразных тестов, сгруппированных в методы, соответствующие тому или иному неблагоприятному фактору (воздействию). Эти методы подразделяются на процедуры, каждая из которых соответствует определённому применению - аналогично принятой в России классификации согласно стандарту ГОСТ РВ. Поэтому

нужно обязательно уточнять, каким методам и процедурам изделие соответствует стандарту **MIL-STD 810F/G** - то есть к какой группе эксплуатации в соответствии с отечественной терминологией.

Меры защиты от поражения электрическим током должны соответствовать требованиям ГОСТ 25861 и ГОСТ 12.1019. Чтобы обеспечить электробезопасность РЭС при эксплуатации необходимо:

1) Исполнить устройство с корпусом, обеспечивающим защиту оператора от прикосновения к токопроводящим частям. Так, в РЭС подключаемых к бытовым и промышленным электрическим сетям напряжением 220 или 380 / 220 В делают блокировку – при снятии крышки кожуха питание устройства должно обесточиваться.

2) Токоведущие части электронного оборудования (шины, клеммы, предохранители, открытые монтажные платы и т.п.) в необходимых случаях снабжают предупредительными надписями.

3) Если корпус металлический, то необходимо обеспечить хороший электрический контакт между всеми металлическими несущими элементами конструкции, чтобы устранить возможную разность потенциалов между ними. Для этого все металлические несущие конструкции должны соединяться между собой болтами, винтами, проводами.

4) Металлические корпуса РЭС должны иметь заземления через розетки, имеющие контакт заземления.

5) Защитное заземление изделий должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.0-75 (2001) и ГОСТ 25861-83.

6) Если устройства содержат опасные напряжения, то дополнительно следует предусмотреть сигнализацию включения высокого напряжения. Для надёжности сигнализации целесообразно применять 2 лампочки – включённого и отключённого состояния.

7) Таблица 2.24 устанавливает минимально-допустимые величины электрического сопротивления изоляции между разобшёнными токоведущими цепями, а также между токоведущими цепями и корпусом РЭС в зависимости от климатических условий.

Таблица 2.24 - Нормы сопротивления изоляции для РЭС

Климатические условия эксплуатации	Сопротивление изоляции, МОм (не менее) при рабочих напряжениях (амплитудное значение)		
	до 0.1, кВ	(0.1 .. 0.5), кВ	(0.5 .. 10.0), кВ
Нормальные	5.0	20.0	100.0
При наибольшем значении рабочей температуры	1.0	5.0	20.0
При наибольшем значении относительной влажности	0.2	1.0	2.0

2.8.2 Опасность теплового воздействия на человека

Большой уровень тепловых излучений и высокие температуры в зоне эксплуатации РЭС - отрицательное явление, ухудшающее тепловой режим рабочего места.

При температуре до 18 °С человек может работать с нормальной производительностью. Во время подвижной работы при температуре выше 20 °С производительность труда падает. Температура в 25 °С при относительной влажности более 70% снижает эффективность работы; температура 30 °С при влажности более 80% делает работу очень тяжёлой, от которой повышается усталость, эффективность её снижается на 35% по сравнению с начальной фазой. Длительная работа в таких климатических условиях опасна для здоровья.

В соответствии с «Санитарно-эпидемиологические правилами и нормами СанПиН 2.2.4.3359-16» интенсивность теплового излучения на рабочем месте человека должна быть менее 4,15 кДж/(см²мин). Там, где величины интенсивности излучения равны или больше приведённой выше величины, необходимо прибегать к уменьшению теплового излучения.

Способы уменьшения теплового излучения: уменьшение нагрева устройства или улучшение его тепловой изоляции, использование кондиционеров, а также применение личных средств защиты от излучения (например, специальной одежды).

2.8.3 Опасность шумового и вибрационного воздействия

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм человека. Длительное воздействие шума от работы систем и устройств управления РЭС (например, систем вентиляции) способно привести к стойкому нарушению слуха (тугоухости), увеличению риска сердечно-сосудистых болезней, неврозов, депрессии, бессонницы, и, как следствие, падение общей трудоспособности.

В соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 уровень шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА, а в случае творческой и научной деятельности, занятиями конструированием и проектированием, преподаванием и обучением – не более 50 дБА.

Вибрации при работе систем и устройств управления могут также оказывать вредное влияние на здоровье человека, вызывая изменение в нервной, зрительной, сердечно-сосудистой и костно-суставной системах, сопровождаемые головными болями, головокружением, повышенной утомляемостью и др.

Уменьшение шума и вибрации достигается путём разработки устройств с безопасным уровнем шумов и вибраций, использованием средств и методов коллективной (снижающей шум и вибрацию в источнике возникновения и на пути их распространения к защищаемому объекту) и индивидуальной защиты.

2.8.4 Опасность электромагнитных излучений

Функционирование многих современных РЭС сопровождается интенсивными электромагнитными излучениями (Рис. 2.21)

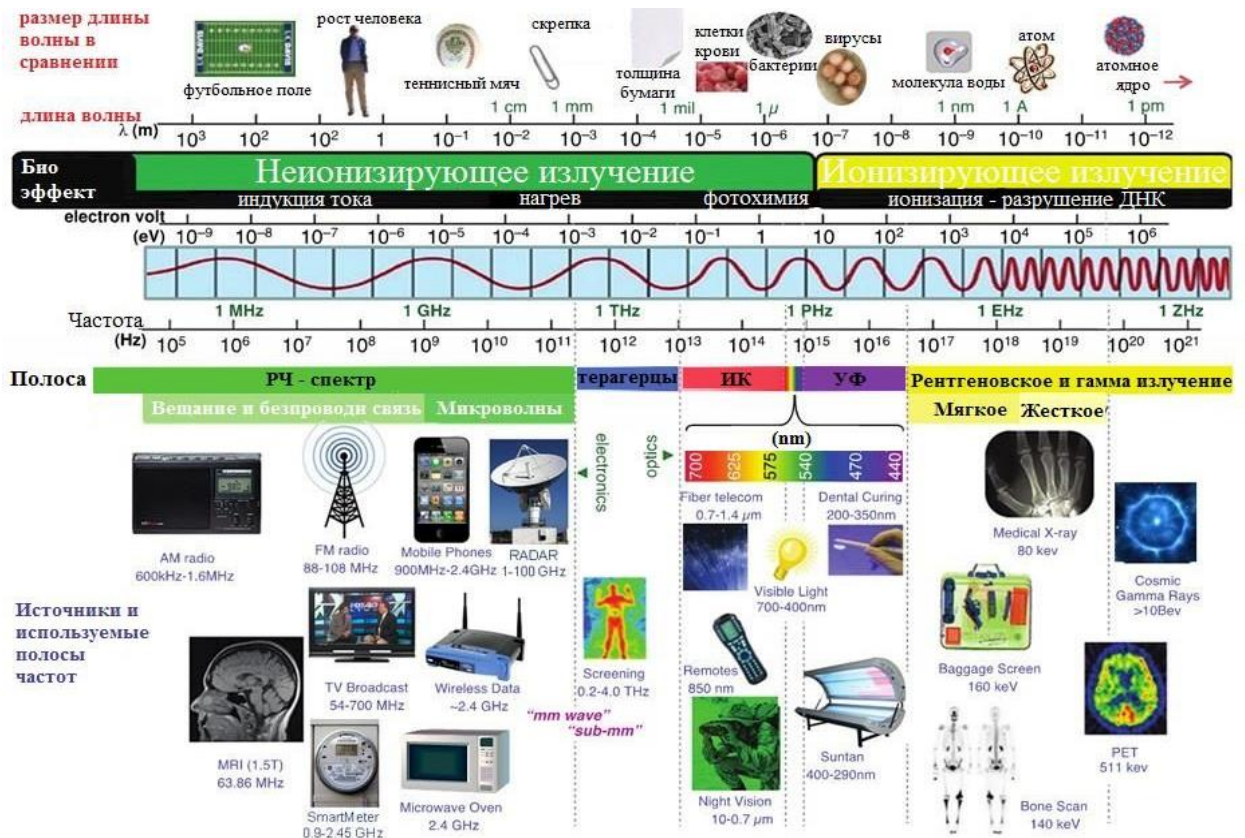


Рис. 2.21 - Диапазоны электромагнитных излучений, опасных для человека

Источниками электромагнитного излучения могут быть:

- 1) Все генераторы и усилители высоких (ВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частот¹³, в том числе теле- и радиостанции, спутниковая и сотовая связь, радары, СВЧ-печи, многообразная медицинская аппаратура, персональные компьютеры, линии электропередач и т.п.
- 2) Провода с ВЧ и СВЧ токами и в том числе антенно-фидерные устройства.
- 3) Все генераторы импульсных сигналов (импульсный сигнал содержит широкий спектр частотных составляющих).
- 4) Провода с импульсными токами.
- 5) Все устройства, работа которых связана с включением и выключением цепей под током.
- 6) Все устройства, работа которых связана с искрением на контактах. Искра на щётках двигателя имеет малую длительность, а значит широкий спектр частот.

¹³ Низкочастотные (НЧ) сигналы на человека влияют слабо, так как создаваемое ими магнитное и электромагнитное поля быстро затухают при удалении от источника. ВЧ и СВЧ поля на расстоянии затухают слабо. Возникающие электромагнитные волны передаются на большие расстояния и могут оказывать вредное влияние на соседние ЭРЭ и человека.

7) Все устройства и провода с высоковольтными токами, напряжениями, на острых кромках которых может быть стекание заряда (коронный разряд).

Чувствительными к электромагнитным излучениям (приёмниками излучений) могут быть:

- все усилители, и в особенности их входные цепи;
- нагрузка ВЧ усилителей;
- ВЧ дроссели, все катушки индуктивности;
- люди и животные.

В зависимости от уровня, электромагнитные излучения могут губительно действовать на живые клетки в диапазоне частот $f = 60$ кГц .. 300 ГГц. В нижней части диапазона от 60 кГц до 300 МГц электромагнитные излучения измеряют и оценивают уровнем напряжённости электрических и магнитных полей. Таблица 2.25 знакомит с максимально-допустимыми значениями напряжённости E электрического поля.

Таблица 2.25 – Максимально-допустимые значения напряжённости E электрического поля для различных частот f

f , МГц	0,06 .. 3	3 .. 30	30 .. 50	50 .. 300
E , В/м	50	20	10	5

В СВЧ диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц электромагнитные излучения особенно опасны, и оцениваются уровнем удельной мощности излучения на единицу поверхности Руд, измеряемой в Вт/м².

Допустимый уровень в СВЧ диапазоне Руд = 0,1 Вт/м². Допустимые уровни излучения базовых станций мобильной связи (900 и 1800 МГц) в России 10 мкВт/см².

Работами российских и зарубежных учёных было установлено, что наиболее чувствительными к воздействию электромагнитных полей являются мозг и нервная система человека. Электромагнитные излучения вызывают или усугубляют тяжёлые заболевания сердечно-сосудистой, эндокринной, половой, иммунной и нервной систем человека. Среди таких болезней рак мозга и лимфатических узлов, агрессивный рост лейкозных клеток (лейкемия), повреждение ДНК, повышенное кровяное давление, депрессии (с суицидальными наклонностями), болезнь Альцгеймера и др. Особенно опасны электромагнитные излучения для здоровья детей и беременных женщин.

Организационные, инженерно-технические и лечебно-профилактические защитные мероприятия от воздействия электромагнитных полей РЭС должны обеспечиваться с учётом новейших достижений науки и техники *ещё на стадии их проектирования*. Это и безопасное размещение излучающих объектов, и использование коллективных (населённый пункт, район, группа домов), локальных (отдельное строение, помещение) и индивидуальных (в особенности людей с имплантированными кардиостимуляторами) средств.

Для обеспечения электромагнитной совместимости между источниками и приёмниками излучений необходимо ослабить связи между ними до допустимых значений [42]. Рекомендуется:

- пространственное разнесение источников или приёмников излучений;

- тщательное экранирование источников и приёмников излучений [43,44];
- установка фильтров в общие цепи источника питания, приёмников помех.

Качество экранирования существенно уменьшается, если в экране есть отверстия или прорези. Прорези, щели, окна и вентиляционные отверстия в металлических корпусах, кожухах РЭС могут излучать на высших гармонических составляющих рабочего сигнала, особенно если вентиляционные прорези неправильно сориентированы относительно направления напряжённости паразитного магнитного поля. В конструкции необходимо обеспечить целостность экранирования кожухом или корпусом, устранив щели с помощью резиновой прокладки в экранирующей оплётке или резиновой прокладкой из токопроводящей резины. Вентиляционные окна на металлическом кожухе экранируют с помощью металлических сеток.

2.9 Анализ эстетических и эргономических показателей конструкции

Существенную роль при покупательской оценке РЭС во многом играют эстетические и эргономические показатели их дизайна, отвечающие физиологическим и социальным требованиям пользователя.

Эстетические показатели характеризуют художественное единство формы и содержания РЭС и обуславливают характер построения и компоновки РЭС (композиционную целостность, масштабную соразмерность элементов конструкции между собой, зоны оптимального размещения органов управления и других внешних установочных элементов и т.п.) [45,12].

Красивые РЭС украшают помещение и улучшают настроение работающих с ними людей. Особенно важно требование красивого внешнего вида при создании бытовых РЭС, которые должны не только органически вписываться в интерьер помещения, но и украшать его.

Взаимосвязь важнейших элементов конструкции РЭС, выражающая замысел конструктора, определяется его **композицией**.

Красота конструкции РЭС характеризуется рядом частных показателей, к которым относятся:

- **гармоничность** (свойство формы конструкции быть органично согласованной с элементами формы, что достигается определённым соотношением размеров, форм, яркости, цвета, расположения отдельных элементов);
- **выразительность** (способность конструкции своим внешним видом наглядно отображать качество, обеспечивая соответствующее эстетическое восприятие);
- **оригинальность** (совокупность своеобразных элементов формы и их отношений, позволяющая отличить данную конструкцию от однотипных),
- **стилевое единство** (устойчивая общность формально-художественных средств, отражающая исторически сложившиеся социально-экономические и идейно-эстетические принципы, а также художественно-конструкторские методы и средства их воплощения);
- **современность стиля** (согласованность между общим стилем конструкции и лучшими образцами мировой культуры).

Эргономика конструкции. Под эргономичностью понимают согласованность конструкции с возможностями и особенностями человека оператора [46].

Эргономические характеристики пользователя РЭС устанавливаются с целью оптимизации его деятельности.

Антропометрические характеристики учитывают согласованность параметров конструкции с физическими особенностями (антропометрии) человека - размерами его тела, возможности обзора внешнего пространства, положения оператора при работе и т.п.

Исходя из антропометрических требований, определяются допустимые значения массы устройств и их форма. Например, при проектировании пультов управления должны выполняться требования по форме и размерам с учётом позы оператора. Для снятия нагрузки с рук оператора предлагается столешница на высоте 750 мм. Чтобы угол зрения на передней панели был прямым, передняя панель должна быть наклонена на 60° к горизонту. Для компактных, миниатюрных приборов тоже рекомендуется выполнять переднюю панель наклонно. Чтобы исключить сканирование головой оператора сверху вниз размер по высоте передней панели не должен быть более 500 мм. Кроме того, панель ограничивают по ширине, заворачивая её вправо и влево так, чтобы доставала рука оператора.

Сенсомоторные характеристики учитывают скорость реакции человека по скорости восприятия информации и быстрдействию его сенсорных реакций на различные виды раздражителей.

Скорость считывания информации на индикаторных устройствах зависит от смыслового содержания информации. Если информация смысловая, т.е. имеет логику, то скорость её восприятия человеком может достигать 15-20 бит/с. Если информация смысла не имеет (например, зашифрованная), то скорость восприятия значительно меньше - не более 2-4 бит/с.

Психофизиологические характеристики учитывают скорость и темп движений частей тела, характеристики зрения, реакцию человека на цвет, цветовую гамму, частотный диапазон подаваемых сигналов, форму и другие эстетические параметры. Эти показатели необходимо учитывать при выборе конструкции элементов управления (ручек, кнопок, тумблеров). Необходимо соблюдать согласованность по быстрдействию, освещённости, размерам и форме, комфортности.

Следует подобрать, материалы и варианты цветовых решений покрытий, определяющие дизайн и совместимость проектируемой РЭС с объектом установки.

Биомеханические характеристики учитывают силовые возможности человека при определении усилий, прилагаемых к органам управления.

При эргономическом планировании конструкции РЭС следует предусмотреть:

- расположение органов управления и индикации, обеспечивающее удобное положение человека при работе и оптимальное расстояние до глаз;
- размещение соответствующих органов управления и индикации в последовательности, соответствующей порядку выполнения операций и достаточно друг от друга, чтобы возможно быстро управлять ситуацией;

- соответствие формы, размеров и материалов органов управления прилагаемому усилию, допустимость их с точки зрения физиологии различных операторов (мужчин, женщин, молодых и пожилых работников);
- удобство обслуживания и ремонта РЭС.

Художественно-конструкторское решение только тогда признается соответствующим требованиям технической эстетики, если оно обладает художественной и информационной выразительностью, целостностью композиции, рациональностью формы (удовлетворяет эксплуатационным, конструктивным и технологическим требованиям, соответствует требованиям эргономики).

Удобство эксплуатации обеспечивается рациональной компоновкой органов управления, органов отображения информации. В зависимости от сложности устройства бывают варианты компоновки с централизованным и децентрализованным управлением. Централизованная система предполагает компоновку органов управления и отображения информации отдельным пультом управления. В случае децентрализованного управления органы управления компонуются непосредственно на передних панелях. Удобство эксплуатации во многом определяется компоновкой передней панели.

На передней панели размещают органы отображения информации, органы управления и контроля. В качестве устройства отображения информации используются ЭЛТ, индикаторы цифровые, стрелочные приборы, шкалы настройки, световая сигнализация. Устройства отображения информации компонуют в верхней части с тем, чтобы их не закрывать рукой при работе оператора. Устройства управления рекомендуется размещать справа или снизу непосредственно под устройством отображения информации. Кроме того, на передней панели размещают устройства контроля: сигнальные лампочки накаливания, лампочки тлеющего разряда (неоновые), светодиоды, колодки контроля или гнезда для контроля работоспособности внешними устройствами. Для удобства эксплуатации все органы на передней панели должны иметь надписи о назначении и предельных положениях.

Надписи выполняются буквами либо символами. Они могут выполняться гравировкой и затем затираться краской, контрастной к цвету панели. Для удобства управления особенно в условиях ограниченной видимости должны выполняться следующие общепринятые положения: положению «Вкл.», «Пуск», увеличению регулируемого параметра соответствует положение ручки вверх или вправо, или вращение по часовой стрелке.

Положению «Выкл.», «Стоп», уменьшению регулируемого параметра соответствует положение ручки вниз или влево, или вращение ручки против часовой стрелки.

При эксплуатации в условиях ограниченной видимости предлагается подсветка органов передней панели. Площадь передней панели ограничена, а поэтому должны предлагаться следующие методы минимизации по площади:

1. Уменьшают габаритные размеры и площади под устройствами отображения информации за счёт их многофункциональности. Для того чтобы вести в приборах не только количественную, но и качественную оценку параметров можно разделить шкалы приборов на секторы разной цветности, или ввести световую сигнализацию аварийных уровней.

2. Сокращают количество органов управления и упрощают работу с ними за счёт замены органов управления кнопками. Это возможно, если предлагать устройства многоканальные с фиксированной настройкой частоты.

Подстройка же по частоте, по усилению выполняется, автоматизировано за счёт схемотехнических решений.

Ручки управления на органы управления могут быть стандартными (стандартные ручки различных форм предназначены на различные усилия). В зависимости от усилия управления ручки могут быть: цилиндрические, типа клювик, цилиндрические рифлёные, ручки типа ворота на большие нагрузки.

Органы управления и ручки к ним должны выбираться на усилие управления при ударах и вибрациях. При механических воздействиях дополнительно возникают силы инерции равные произведению массы управляющего элемента на величину ускорения.

Уровень пользования. РЭС должно быть спроектировано так, чтобы для его управления не требовался исключительно высококвалифицированный персонал. Случайное неправильное обращение с органами управления не должно выводить РЭС из строя. Субъективные особенности обслуживающего персонала не должны сказываться на результатах операций, которые выполняет РЭС.

Ремонтопригодность. Обслуживание РЭС (периодические профилактические и ремонтные работы) должно быть простым. Для этого должны быть обеспечены:

- удобный монтаж и демонтаж РЭС и её составных частей;
- лёгкий доступ к узлам и блокам, требующим периодического осмотра, подстройки, очистки и смазки;
- возможность быстрой смены узлов и блоков, обладающих маленьким сроком службы;
- взаимозаменяемость (унификация) блоков и узлов по электрическим и механическим параметрам.

Всякое ремонтнопригодное РЭС целесообразно комплектовать запасными частями для быстрого восстановления работоспособности после выхода его из строя.

2.10 Техничко-экономические показатели

Каждое РЭС должен быть сконструировано так, чтобы затраты на его производство и эксплуатацию (затраты на проектирование и изготовление, стоимость электроэнергии, заработной платы обслуживающего персонала, стоимость запасных деталей, узлов и приборов, необходимых для проведения ремонтных работ и т.п.) были минимальными.

Ускорить и удешевить проектно-конструкторские работы можно как за счёт максимального использования стандартизации - обоснованного применения типовых базовых конструкций и решений, высокой технологичности изготовления, так и путём разработки и внедрения прогрессивных методов проектирования на основе информационных технологий. Оптимизация конструкции РЭС сводится к нахождению из множества допустимых вариантов единственного, обеспечивающего выполнение поставленной задачи с максимальной эффективностью при минимуме затрат.

Применение информационных технологий проектирования РЭС изменяет многие этапы работ и требует перестройки традиционно сложившихся отношений между проектировщиками, конструкторами, технологами, переходу к безбумажной технологии. Число людей, занятых в сфере проектирования и производства РЭС неуклонно снижается, что положительно сказывается на себестоимости последних. Одновременно возрастают требования к квалификации разработчиков.

Особую роль в настоящее время приобретает экономичное питание РЭС. Действительно, бурный количественный рост электронной бытовой техники у населения требует для своего питания мощности, значительно превышающей рост энергетических ресурсов. Заметим, что уменьшение потребления электроэнергии в РЭС с батарейным питанием позволяет снизить его массу за счёт уменьшения габаритов источников питания или при той же массе батарей продлить срок службы РЭС. Таким образом, задача энергосбережения приобретает для проектировщика РЭС первостепенное значение.

Технический и экономический уровни будущей конструкции РЭС могут быть оценены путём сопоставления его показателей с показателями лучших отечественных и зарубежных аналогов РЭС того же эксплуатационного назначения.

3 Цели и задачи курсового проекта

Курсовое проектирование по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС» имеет целью подготовить студентов к самостоятельному решению проектно-конструкторских задач при выполнении дипломного проекта и к последующей работе после окончания университета.

3.1 Основными задачами курсового проектирования являются:

- 1) систематизация, расширение и углубление теоретических знаний комплексного решения схмотехнических, конструкторских и графических задач создания проектов современных РЭС;
- 2) развитие и закрепление практических навыков использования компьютеров для решения основных задач, возникающих в ходе разработки конструкторской и технологической документации при проектировании РЭС;
- 3) приобретение опыта по поиску информации в Интернет, работы с технической литературой, с нормативно-технической документацией, и в особенности, со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД);
- 4) подготовка к самостоятельному успешному решению конструкторских задач при выполнении дипломного проекта и последующей работы на промышленных предприятиях.

3.2 При разработке проекта необходимо знать и учитывать:

- 1) назначение и принципы действия, разрабатываемого РЭС и возможности его использования;
- 2) влияние на электрические параметры физических процессов, протекающих в РЭС;

- 3) информационные технологии проектирования конструкций и технологических процессов изготовления РЭС;
- 4) условия эксплуатации РЭС и методы защиты их от дестабилизирующих факторов (теплообменные процессы, вибрации и удары, воздействие электромагнитных полей, радиации, влаги и т.д.);
- 5) свойства материалов и их проявления в различных условиях эксплуатации;
- 6) особенности компоновок РЭС;
- 7) технологию проектирования и изготовления печатных плат (ПП), печатных узлов (ПУ), отдельных деталей и сборочных единиц;
- 8) вопросы стандартизации, унификации и технологичности;
- 9) правила оформления конструкторской документации и многое другое.

3.3 В ходе курсового проектирования студент должен научиться:

- 1) разрабатывать технические задания для проектирования РЭС;
- 2) разрабатывать требования к конструкции детали и сборочной единицы РЭС, используя технические условия (ТУ), стандарты, технологические и экономические и т.п. показатели качества;
- 3) оценивать технологичность конструкции детали и изделия РЭС в целом;
- 4) осуществлять проектирование печатных плат (микросборок) по заданной принципиальной схеме, технологическим, экономическим и другим показателям;
- 5) выполнять расчёты, связанные с проектированием конструкций РЭС, с помощью компьютера;
- 6) анализировать результаты расчёта и принимать соответствующие конструкторские решения с целью обеспечения параметров РЭС;
- 7) разрабатывать графическую и текстовую документацию на сконструированные изделия с использованием информационных технологий;
- 8) пользоваться технической литературой (справочниками, стандартами и другими нормативно-техническими документами (НТД), применяемыми на промышленных предприятиях)

3.4 Задание на курсовое проектирование

Предметом курсового проектирования является разработка конструкции законченных РЭС разнообразного функционального назначения, имеющих отдельную принципиальную схему. Проектируемое изделие может иметь самостоятельное применение, а может являться частью сложного РЭС.

В начале семестра преподаватель-руководитель проекта выдаёт каждому студенту **индивидуальное задание на курсовое проектирование**. В нем указываются срок выдачи задания, сроки проведения промежуточного контроля выполнения отдельных этапов проектирования и дата защиты проекта.

Задание оформляется на специальном бланке (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А. Бланк индивидуального задания), в котором содержатся:

- тема проекта;
- исходные данные к проекту;
- перечисляются этапы работ;
- объем и содержание альбома конструкторской документации;
- объем и содержание расчётно-пояснительной записки;
- рекомендуемая литература;
- дополнительные указания к проекту.

Тема проекта. В ходе курсового проекта необходимо разработать конструктивно-законченное РЭС всевозможного назначения (медицинские и бытовые приборы, устройства автоматики и управления, контрольно-измерительная аппаратура, радиоприёмники, радиопередатчики, усилители, источники вторичного электропитания и т.п.) с автономным или сетевым питанием, органами индикации и управления, выполненное в отдельном корпусе. Темы курсовых проектов целесообразно выбирать актуальными, с элементами научно-исследовательской работы. Это позволит повысить активность и ответственность студентов за своевременное выполнение проекта.

При выборе темы проекта рекомендуется отдавать предпочтение изделиям, содержащим в составе не более 50 электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

Поощряются реальные темы курсовых проектов. По конструктивной сложности разрабатываемое РЭС должно быть не ниже 2-го структурного уровня (Рис. 3.1) [35] и выполнено с учётом стадий проектирования по ЕСКД.

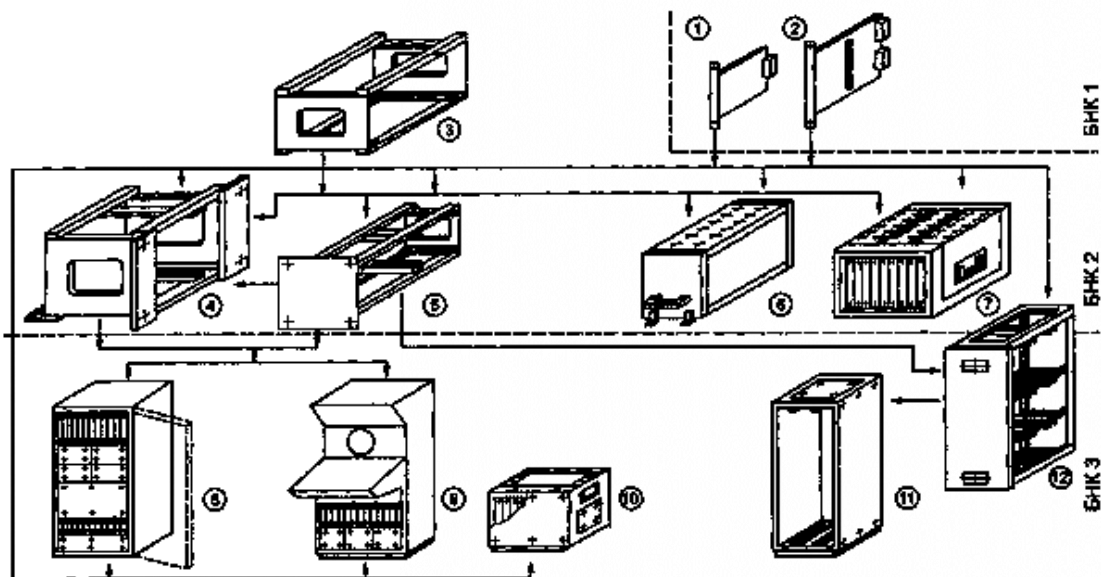


Рис. 3.1 – Иерархическая система построения базовых несущих конструкций (БНК) по ГОСТ Р 51623-2000

1, 2 - ячейки; 3 - корпус блока; 4 - блочный каркас; 5 - корпус вставного блока; 6 - корпус блока (авиационного); 7 - корпус контейнера (авиационного); 8 - корпус шкафа; 9 - корпус пульта; 10 - корпус моноблока; 11 - корпус шкафа для выдвигной стойки; 12 - выдвигная стойка

Исходные данные к проекту. Исходными данными для выполнения проекта являются:

- 1) схема электрическая принципиальная изделия с описанием работы, с перечнем входящих ЭРЭ и их параметров;
- 2) электрические требования с указанием данных, наиболее характерных для разрабатываемого устройства (например, для радиоприёмного устройства: чувствительность, избирательность, рабочий диапазон частот и другие; для радиопередающего устройства - стабильность частоты, выходная мощность, рабочий диапазон частот и т.д.);
- 4) условия эксплуатации РЭС в зависимости от климатических особенностей местностей, где они будут работать, рода объекта (корабль, самолёт, спутник и т.д.) и других причин задаются указанием в расширенном техническом задании конкретных количественных показателей воздействий. Например, бортовая самолётная РЭС: устойчивость к климатическим воздействиям, условия хранения и транспортирования по ГОСТ 15150-69 [29], к механическим - по ГОСТ 16019-2001 [27];
- 5) технико-экономические требования (группа потребителей разрабатываемого РЭС¹⁴, его новизна и конкурентоспособность), позволяющие получить заданные преимущества и выгоды от внедрения создаваемого РЭС (стоимость, серийность, технологичность, уровень унификации и стандартизации и т.д.).

Объем и содержание графических работ. Графическая часть проекта включает комплект чертежей на разрабатываемую ПП объёмом не менее 7 листов формата А4 по ГОСТ 2.301-68, выполненных с использованием компьютера:

- 1) исходная схема электрическая принципиальная проектируемого РЭС (или схема из источника проектирования) с указанием применяемых ЭРЭ;
- 2) схема электрическая принципиальная проектируемого печатного узла РЭС и перечень ЭРЭ к ней (*P-CAD*) [47,48,49,50,51,52], *Altium Designer* [53,54,55], *КОМПАС-3D* [56,57]);
- 3) чертёж печатной платы (*P-CAD*, *Altium Designer*, *КОМПАС-3D* и др.);
- 4) сборочный чертёж печатного узла и спецификация к нему (*P-CAD*, *Altium Designer*, *КОМПАС-3D*);
- 5) чертёж общего вида проектируемого РЭС с использованием *CAM Solid Works*.

Объем и содержание расчётно-пояснительной записки. Расчётно-пояснительная записка должна состоять не менее из 20 печатных листов, выполненных с использованием текстового процессора *Word* или схожего по возможностям.

¹⁴ К 1-й группе относится аппаратура, стоимость которой должна быть минимальной. В основном это РЭС бытового назначения.

К 2-й группе относится аппаратура, стоимость разработки и производства которой имеет существенное, но не первостепенное значение (медицинская аппаратура, радиостанции низовой народнохозяйственной радиосвязи и др.).

К 3-й группе относится аппаратура, к которой предъявляются жёсткие требования по обеспечению заданных технических характеристик.

Рекомендуемая литература. Руководитель проекта указывает литературу, которую целесообразно использовать студенту при разработке конструкции РЭС.

Дополнительные указания к проекту. Этот раздел используется руководителем проекта для включения дополнительных требований к проекту исследовательского характера. Очевидно, что первоначальный выбор большинства характеристик (тип платы или микросборки, её габаритные размеры, соединители, параметры печатных проводников элементная база и т.п.) в процессе проектирования итерационно уточняется и изменяется. Дополнения, которые появляются у студента при работе над курсовым проектом, также включают в этот раздел.

Конструктивно-технологический вариант исполнения РЭС согласовывается студентом, выполняющим проект, с руководителем курсового проектирования. Содержание проектно-конструкторских и технологических задач, решаемых в проекте, определяется вариантом исполнения конструкции РЭС.

После анализа студентом индивидуального задания на курсовое проектирование и уточнения совместно с руководителем проекта объёма и содержания работ, необходимо разработать **расширенное техническое задание** (ТЗ) на проектирование РЭС.

Поскольку цикл разработки РЭС включает в себя довольно много этапов и процедур и на каждом этапе нужно учитывать большое количество факторов, то разумно более конкретно подвергнуть рассмотрению методику проектирования РЭС на основе информационных технологий.

4 Список литературы

1. ГОСТ 15.016-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. - М.: Стандартинформ, 2017. - 27 с.
2. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. - М.: Стандартинформ, 2015. - 6 с.
3. ОС ТУСУР 01-2013 (СТО 02069326.1.01-2013). Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления. - Томск: ТУСУР, 2013. – 57 с.
4. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93 // Классификатор ЕСКД. URL: <http://classinform.ru/ok-eskd/kod.html>
5. Сарафанов. Основы проектирования электронных средств: Техническое задание. Формирование и анализ: учеб. пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2008. – 140 с.
6. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. - М.: Стандартинформ, 2007. - 20 с.

7. ГОСТ 25804.2-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по надежности. - М.: Стандартиформ, - 1983. - 25 с.
8. Кофанов Ю.Н., Сарафанов А.В., Трегубов С.И. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: Учеб. Пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2002. - 220 с.
9. ГОСТ 28934-91 Совместимость технических средств электромагнитная. Содержание раздела технического задания в части электромагнитной совместимости. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. - 9 с.
10. ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. - М.: Стандартиформ, 2008. - 8 с.
11. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин (взамен ГОСТ 8.417-81). – М. : Стандартиформ , 2003. – 24 с.
12. Кольтюков Н.А. Основы эргономики и дизайна РЭС: учебное пособие по курсовому проектированию / Н.А. Кольтюков. О.А. Белоусов. - Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. - 124 с.
13. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. - Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. - 617 с.
14. Алямовский А. А. и др.. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Авторы: Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б.. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 800 с.
15. Алямовский. COSMOSWorks. Основы расчёта конструкций на прочность в среде SolidWorks. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 784 с.
16. Программные продукты ANSYS [Электронный ресурс] // Группа компаний "ПЛМ Урал" - "Делкам-Урал" – Единый центр поддержки продуктов ANSYS в России и странах СНГ: [сайт]. [2014]. URL: <http://www.cae-expert.ru/product/overview>
17. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ, пособие. - М. : Машиностроение-1, 2004. - 512 с.
18. Гелль П.П., Иванов-Осипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
19. Каленкович Н.И. Радиоэлектронная аппаратура и основы её конструкторского проектирования: учебно-методическое пособие для студентов спец. «Моделирование и компьютерное проектирование» и «Проектирование и производство РЭС». - Минск: БГУИР, 2008. - 200 с.
20. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. - М.: Энергия, 1968. - 359 с.
21. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Советское радио, 1976. - 230 с.

22. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Ч. 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.
23. Криваткин А., Сакуненко Ю. Применение теплорассеивающих пластмасс для охлаждения LED-кристаллов // Время электроники. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2327/doc/53280/>
24. Белоусов О.А., Кольтюков Н.А., Грибков А.Н. Основные конструкторские расчеты в РЭС : учебное пособие / О.А. Белоусов, Н.А. Кольтюков, А.Н. Грибков. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, , 2007. - 84 с.
25. Шалумов А.С., Малютин Н.В., Кофанов Ю.Н., Способ Д.А., Жадное В.В., Носков В.Н., Ваченко А.С. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том I/ Под ред. Кофанова Ю.Н. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - 368 с.
26. ГОСТ 9.039-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозионная агрессивность атмосферы. – М. : Изд-во стандартов, 1991. - 49 с.
27. ГОСТ 16019-2001 - Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний (взамен ГОСТ 16019-78). - Минск: Стандартиформ , 2002 – 10 с.
28. ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия. - М.: Издательство стандартов, 1991. - 34 с.
29. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Стандартиформ, 2013. - 85 с.
30. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк., 1991. - 336 с.
31. Мырлова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. - М.: Радио и связь, 1988. - 296 с.
32. Радиационно-защитные экраны для электронных модулей // АО «ТЕСТПРИБОР». 2018. URL: http://www.test-expert.ru/catalog/detail.php?ID=1037&SECTION_ID=212
33. Рябов Ю.Г. Общие положения по сохранению живучести и обеспечению защиты радиоэлектронных средств от воздействий электромагнитного оружия и электронного терроризма // Специальные радиосистемы. URL: <http://www.radioscanner.ru/info/article144/>
34. ГОСТ 25467-82. Изделия электронной техники. Классификация по условиям применения и требования по стойкости к внешним воздействующим факторам. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 105 с.

35. ГОСТ Р 51623-2000 Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координационные размеры. - М.: Госстандарт России, 2000. - 12 с.
36. Кольтюков Н.А. Проектирование несущих конструкции радиоэлектронных средств : учебное пособие / Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. - 84 с.
37. Князев А.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.
38. ГОСТ 11478-88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Нормы и методы испытания на воздействие внешних механических и климатических факторов. – М.: Издательство стандартов, 2013. – 44 с.
39. Межгосударственный стандарт ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). Взамен ГОСТ 14254-80. - М.: Стандартиформ, 2008. - 36 с.
40. Фирма "ПРОМСАТ", г. Киев, "Степени защиты: IP и NEMA," *ЛиКАД*, Apr 2004. pp. 56, 57.
41. Описание стандарта MIL-STD 810 [Электронный ресурс] // Сайт компании ЗАО «РАДИАНТ-ЭЛКОМ»: [сайт]. [2014]. URL: <http://www.radiant.su/rus/articles/?action=show&id=101>
42. А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. - М.: Радио и связь, 1989.— 224 с.
43. Полонский Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Советское радио, 1979. - 216 с.
44. Н.А. Кольтюков, О.А. Белоусов. Экранирование в конструкциях РЭС: метод. указ. - Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та , 2007. - 16 с.
45. Варламов, Р.Г. и др.. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования. — М.: Сов. радио, 1980. — 480 с.
46. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учебник. - М.: Логос, 2001. - 356 с.
47. Уваров А.С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 760 с.
48. Стешенко В.Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. — СПб: БХВ-Петербург, 2003. - 720 с.
49. Саврушев Э.Ц. P-CAD 2006. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2007 — 768 с.
50. Уваров А.С. Программа P-CAD. Электронное моделирование. - М.: Диалог-МИФИ, 2008. - 192 с.

51. Лопаткин А.В. P-CAD 2004. - СПб : БХВ-Петербург, 2006. - 560 с.
52. Иванова Н.Ю., Петров А.С., Поляков В.И., Романова Е.Б.. Технология проектирования печатных плат в САПР P-CAD-2006: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. - 168 с.
53. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. - 432 с.
54. Суходольский В.Ю.. Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах в САПР Altium Designer 6.: Учебное пособие. Часть 1. - СПб: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2008. - 152 с.
55. Суходольский В.Ю. Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах в САПР Altium Designer 6.: Учебное пособие. Часть 2. - СПб: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2009. - 108 с.
56. Большаков В.П., Бочков А.Л., Сергеев А.А. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex. - СПб: Питер, 2011. - 336 с.
57. КОМПАС-3D V14. Больше чем CAD // Компания "Аскон". URL: <http://ascon.ru/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Бланк индивидуального задания

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования и технологии производства
радиотехнических средств (КИПР)

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине «Автоматизированное проектирование РЭС»

Студенту (ке) _____ группы _____ РКФ

1. Тема проекта _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы « » _____ 20__ г.

3. Исходные данные:

3.1. [Библиографический (ие) источник(и) со схемой электрической принципиальной изделия с описанием работы, указанием типов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и их параметров]

3.2. _____

4. Этапы работы:

- 1) Анализ задания и разработка технических предложений (анализ работы устройства, условий эксплуатации и элементной базы, возможных вариантов конструкции проектируемого устройства, уточнение элементной базы и т.п.).
- 2) Составление технического задания на проектирование устройства.
- 3) Подготовка к проектированию (выделение схемы электрической принципиальной печатного узла (ПУ), способов его коммутации и крепления).
- 4) Выбор технологии изготовления печатной платы (ПП), определение её начальных размеров, конфигурации и способа крепления.
- 5) Проектирование корпуса устройства (Solid Works).
- 6) Определение способов установки ЭРЭ на ПП.
- 7) Расчёт надёжности и разработка защиты от дестабилизирующих факторов (климатических, механических и т.п.).
- 8) Автоматизированное проектирование ПП и печатного узла (ПУ) с использованием САПР Altium Designer (P-CAD), Компас и т.п.
- 9) Разработка комплекта документации и пояснительной записки в соответствии с ЕСКД.
- 10) Защита проекта.

5. Рекомендуемый состав пояснительной записки:

- 1) Титульный лист;
- 2) Реферат;
- 3) Задание на курсовой проект;
- 4) Содержание;
- 5) Техническое задание;
- 6) Введение (цель работы, область применения разрабатываемого устройства, актуальность разработки, его научное и техническое значение, выбор и характеристика применяемых для проектирования САПР);
- 7) Анализ технического задания и разработка технических предложений;
- 8) Выбор элементной базы (проверка ограничений, оптимизация, определение способов установки, разработка библиотек для автоматизированного проектирования);
- 9) Проектирование конструкции устройства с необходимыми расчётами (массогабаритные показатели, надёжность, тепловой расчёт, защита от дестабилизирующих воздействий);
- 10) Разработка схемы электрической принципиальной и перечня элементов;
- 11) Проектирование печатной платы (ПП) и печатного узла (ПУ) (с необходимыми расчётами);
- 12) Заключение (выводы по результатам проектирования, оценка полноты и качества решения поставленной задачи, рекомендации по конкретному использованию результатов проектирования).

6. Рекомендуемый комплект документации

- 1) Исходная схема электрическая принципиальная устройства;
- 2) Исходная схема электрическая принципиальная ПУ с перечнем элементов;
- 3) Чертёж детали ПП (со слоями шелкографии, маски);
- 4) Сборочный чертёж ПУ со спецификацией;
- 5) Сборочный чертёж устройства со спецификацией;
- 6) Чертёж общего вида устройства.

7. Рекомендуемая литература:

1. **Кобрин, Ю.П.** Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов очного и заочного обучения специальностей 211000.62 и 162107.65. - Томск, ТУСУР, 2012. - 140 с. URL: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2615>
2. **Сабунин А.Е.** Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. — М: СОЛОМ-ПРЕСС, 2009. — 432 с.
3. **Уваров А.С.** P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств. - М.: «Горячая линия-Телеком», 2004. - 760 с.
4. **Каленкович Н.И.** Радиоэлектронная аппаратура и основы её конструкторского проектирования. - Минск: БГУИР, 2008. - 200 с.
5. Белоусов О.А. Основные конструкторские расчёты в РЭС: учебное пособие / О.А Белоусов, НА. Кольтюков, А.Н. Грибков. - Тамбов Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2007. - 84 с.
6. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. — М.; Радио и связь, 1989. — 448 с.: ил.
7. ОС ТУСУР 01- 2013. Образовательный стандарт ВУЗа. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления. — Томск: ТУСУР, 2013. — 57 с.
8. _____

8. Дата выдачи задания

« ____ » _____ 20__ г.

9. Задание принял к исполнению

_____ / _____ /

Руководитель

_____ / _____ /