

Р.Г. Варламов

**Краткий справочник конструктора
радиоэлектронной аппаратуры**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
Р11

Р11 **Р.Г. Варламов**
Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры / Р.Г. Варламов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 856 с.

ISBN 978-5-458-34023-6

Приведены сведения ,необходимые для конструирования радиоэлектронной аппаратуры РЭА.

ISBN 978-5-458-34023-6

© Издание на русском языке, оформление
«УОУО Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

1. ОСНОВНЫЕ СТАДИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЭА

1.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Конструирование РЭА — сложный творческий процесс, не имеющий пока всеохватывающей строгой математизированной базы и ведущийся методом многочисленных проб и последовательных приближений. Этот процесс больше искусство, чем наука, хотя решение многих проблем конструирования основано на использовании строгого математического аппарата (расчеты тепловых режимов, прочности, электрических допусков). Поэтому незначительные на первый взгляд погрешности или приближения, допущенные на ранних стадиях разработки РЭА, могут стать причиной крупных и непоправимых ошибок в дальнейшей работе.

Основными стадиями, на которых определяется конструкция РЭА, являются: подготовительная (аванпроект, или техническое предложение), эскизный проект, технический проект и разработка опытных образцов (рабочий проект). На подготовительной стадии анализируется техническое задание (ТЗ) на разработку РЭА, требуемые параметры сравниваются с параметрами аналогичной существующей РЭА, уточняются и согласуются с заказчиком неясные вопросы, после чего ТЗ утверждается и становится основным документом для дальнейшей работы. Изменение ТЗ допускается только с согласия заказчика и разработчика.

Основным содержанием работ подготовительной стадии проектирования РЭА является [1, 2, 3]:

1. Определение принципиальной возможности создания данной РЭА в соответствии с требованиями ТЗ.
2. Определение новых элементов, необходимых для разработки данной РЭА.
3. Формулировка самых общих рекомендаций по нескольким возможным направлениям конструирования РЭА.
4. Приближенное определение основных конструктивно-технологических параметров изделия.

Только в том случае, если все основные параметры новой РЭА могут быть в первом приближении выполнены и по схемно-принципиальным и по конструктивно-технологическим соображениям и ясны направления конструирования, можно переходить к следующей стадии — эскизному проекту. На стадии эскизного проектирования обосновывается и выбирается блок-схема РЭА, выполняются расчеты и макеты оригинальных элементов РЭА и уточняются конструктивно-технологические параметры.

Содержание работ на стадии эскизного проектирования следующее [1, 3]:

1. Составление полной блок-схемы РЭА.

2. Разработка компоновочных и художественно-конструкторских эскизов с учетом функциональных особенностей РЭА, человека-оператора и среды (объекта, интерьера).

3. Выбор главного направления конструирования на стадии технического проектирования.

4. Уточнение конструктивно-компоновочных параметров.

5. Перечень необходимых функциональных и унифицированных узлов.

6. Составление ТЗ на разработку новых типов элементов.

7. Выбор первичных источников питания РЭА.

Только в том случае, если составленная блок-схема с использованием новых и разработанных ранее функциональных узлов (ФУ и УФУ) обеспечивает выполнение требований ТЗ, а конструктивно-компоновочные характеристики позволяют нормально эксплуатировать РЭА в дальнейшем, при приемлемом времени проектирования можно переходить к основной для конструирования стадии — техническому проекту.

На стадии технического проектирования выполняется разработка и составление принципиальной схемы всей РЭА, ее компоновка, расчет априорной надежности, точности, тепловых режимов, виброзащищенности, влагозащищенности, решаются другие вопросы, определяющие конструкцию РЭА.

Содержание работ на стадии технического проектирования следующее [1—3]:

1. Составление и расчет полной электрической схемы РЭА на номинальные значения параметров.

2. Выбор активных элементов схемы с учетом условий работы и эксплуатации.

3. Выбор номинальных параметров конденсаторов, резисторов, индуктивностей, трансформаторов и дросселей, установочных и коммутирующих изделий.

4. Выбор конструкции монтажа (печатный монтаж, пленочный монтаж, плоские или этажерочные микромодули и т. п.).

5. Разработка эскизов СВЧ элементов.

6. Выполнение пространственных компоновочных эскизов, по которым оцениваются паразитные связи, тепловые режимы, вибро- и влагозащищенность, удобство эксплуатации, ремонта и монтажа на объекте.

7. Расчет надежности и электрических допусков на основе компоновочных эскизов.

8. Разработка кинематических схем и составление эскизов механизмов.

Только в том случае, если расчет электрической схемы на номинальные значения параметров с последующей коррекцией дает требуемые результаты, а расчет априорной надежности, точности, вибро- и влагозащищенности и компоновочные эскизы дают положительный ответ на вопрос о выполнимости требований ТЗ, можно переходить к заключительной стадии конструирования: разработке опытных образцов (рабочему проекту). На первых этапах стадии разработки опытных образцов разрабатывается полный комплект конструкторской документации (чертежи, принципиальные, монтажные, кинематические схемы, инструкции, технические условия и т. п.), выбираются соответствующие материалы и защитные покрытия, разрабатываются механизмы, уточняются конструктивно-технологические особенности РЭА.

Результатами первых этапов стадии разработки опытных образцов являются:

1. Полный комплект конструкторской документации, достаточный для изготовления, регулировки и эксплуатации РЭА.
2. Опытные образцы, позволяющие проверить соответствие их параметров заданным в ТЗ.
3. Отчеты по испытаниям образцов РЭА.

При правильном выполнении всех предыдущих стадий и этапов процесс конструирования заканчивается на этапе разработки конструкторской документации с коррекцией мелких погрешностей, выявившихся при изготовлении опытных образцов.

1.2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ

Основным содержанием работ на этой стадии является анализ технического задания, который следует проводить в следующем порядке [1—3]:

1. Ознакомление с параметрами РЭА, изложенными в ТЗ.
2. Ознакомление с объектом и его параметрами, которые могут оказывать существенное влияние на РЭА (температура, испарения масла, вибрации и удары, излучения и т. п.).
3. Ознакомление с климатическими условиями (средой), в которых эксплуатируется объект (температура, влажность воздуха, плотность воздуха, наличие активной по отношению к РЭА флоры и фауны и т. п.).
4. Оценка микроклимата отсеков и помещений, в которых будет устанавливаться РЭА.
5. Ознакомление с параметрами первичных источников энергии для питания РЭА (сеть, гальванические элементы или аккумуляторы, стабильность, мощность и т. п.).
6. Изучение взаимосвязи человека-оператора и аппаратуры и требований к человеку-оператору (возможность нормальной работы, необходимость введения дополнительных устройств, средства защиты и т. п.).
7. Ознакомление с аналогичными устройствами и системами частично или полностью соответствующими требованиям ТЗ.
8. Формулировка требований к разработке новых устройств, к специальным защитным приспособлениям (новые полупроводниковые приборы, защита от проникающей радиации и т. п.).
9. Уточнение и доработка отдельных пунктов ТЗ и согласование их с заказчиком.
10. Предварительное решение о степени выполнимости поставленной в ТЗ задачи по электрическим параметрам, габаритно-весовым параметрам, потребляемой энергии питания.

После завершения подготовительной стадии проектирования составляется отчет, в котором приводятся подробные данные по перечисленным выше вопросам.

Наиболее легкие условия эксплуатации у наземной стационарной аппаратуры, расположенной в отапливаемых помещениях. Из дестабилизирующих факторов наиболее опасны собственные перегревы и влажность. Источниками энергии является сеть переменного тока. Редко используются автономные источники питания.

Наземная аппаратура, располагаемая вне помещений, подвержена влиянию большого числа дестабилизирующих факторов, из

ТАБЛИЦА 1.1

Условия работы и конструктивное исполнение частей РЭА

Вид РЭА и условия использования	Части РЭА				
	антенны, датчики, фидерные устройства	собственно аппаратура	пульта и аппаратура управления	собственные источники питания	вспомогательные элементы (ЗИП)
Наземная					
стационарная, в помещении	$\frac{С(Т)}{О}$	$\frac{Л(С)}{О}$	$\frac{Л}{О}$	$\frac{Л, С}{О}$	$\frac{Л, С}{О}$
стационарная, вне помещения	$\frac{С, Т}{О}$	$\frac{С(Т)}{О}$	$\frac{Л, С}{О}$	$\frac{С(Т)}{О}$	$\frac{С(Т)}{О}$
носимая человеком	$\frac{С(Т)}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{О, М, ММ}$	$\frac{С(Т)}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{М}$	$\frac{С(Т)}{—}$
автомобильная	$\frac{С, Т}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{О, М, ММ}$	$\frac{С}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{М}$	$\frac{С(Т)}{—}$
Корабельная					
тихоходные корабли, на открытых палубах	$\frac{С, Т}{О}$	$\frac{С(Т)}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{О}$	$\frac{С(Т)}{О}$	$\frac{С(Т)}{—}$
тихоходные корабли, в закрытых рубках	—	$\frac{Л, С}{О, М}$	$\frac{Л, С}{О}$	$\frac{Л, С}{О}$	$\frac{Л, С}{—}$
быстроходные корабли, на открытых палубах	$\frac{С, Т}{О, М}$	$\frac{С, Т}{О, М, ММ}$	$\frac{С(Т)}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{О, М}$	$\frac{С(Т)}{—}$
быстроходные корабли, в закрытых рубках	—	$\frac{С}{О, М, ММ}$	$\frac{С}{О, М}$	$\frac{С}{О, М}$	$\frac{С}{—}$

подводные корабли, снаружи корпуса	$\frac{T}{O, M}$	$\frac{T}{O, M, MM}$ $\frac{C(T)}{O, M, MM}$	$\frac{C(T)}{O, M}$	$\frac{C(T)}{O, M}$	$\frac{C(T)}{C(T)}$
подводные корабли, в рубках	—	—	$\frac{C(T)}{O, M}$	$\frac{C(T)}{O, M}$	$\frac{C(T)}{C(T)}$
С а м о л е т н а я					
тихоходные и низколетящие объекты (вертолеты, самолеты с поршневыми двигателями, дирижабли, аэростаты)	$\frac{C}{O, M}$	$\frac{C}{O, M, MM}$	$\frac{C}{O, M}$	$\frac{C}{O, M}$	$\frac{C}{C}$
реактивные самолеты, вне гермокабин и на обшивке	$\frac{T}{O, M, MM}$	$\frac{T}{O, M, MM}$	—	—	—
реактивные самолеты, в гермокабинах или внутри фюзеляжа	—	$\frac{C(T)}{O, M, MM}$	$\frac{C}{O, M, (MM)}$	$\frac{C(T)}{O, M (MM)}$	$\frac{C(T)}{C(T)}$
Р а к е т н о - к о с м и ч е с к а я					
большие и малые ракеты, снаружи корпуса	$\frac{T}{M, MM}$	$\frac{T}{M, MM}$	—	$\frac{T}{M, MM}$	—
большие и малые ракеты, внутри корпуса	$\frac{M, MM}{M, MM}$	$\frac{C, T}{M, MM}$	—	$\frac{C, T}{M, MM}$	—
космические корабли, вне корпуса	$\frac{T}{(O), M, MM}$	$\frac{T}{M, MM}$	—	$\frac{T}{M, MM}$	—
космические корабли в гермокабинах	—	$\frac{C(T)}{M, MM}$	$\frac{C(T)}{M (MM)}$	$\frac{C(T)}{M, MM}$	$\frac{C(T)}{C(T)}$

которых в первую очередь необходимо учитывать климат данной местности, флору и фауну, засоренность воздуха, его плотность, влажность, дожди, возможность обледенения, абразивность пыли и солнечную инсоляцию. Для РЭА, расположенной в прибрежных районах, необходимо учитывать насыщенность воздуха морскими испарениями и наличие ветров. В качестве источников энергии для питания РЭА в первую очередь используются: сеть переменного тока, автономные агрегаты электропитания, состоящие из бензинового или дизельного двигателя и генератора переменного тока; реже применяются аккумуляторы и гальванические батареи.

Наземная переносная РЭА может подвергаться общим климатическим воздействиям, к которым присоединяется влияние механических вибраций и ударов при транспортировке и небрежном обращении. Основным видом источников питания являются гальванические элементы и малогабаритные аккумуляторы.

Наземная возимая РЭА, кроме перечисленных выше воздействий, может испытывать механические нагрузки, резкие перепады температуры при переходе от рабочего к нерабочему состоянию, воздействие испарений различных горюче-смазочных материалов. Такая аппаратура устанавливается на амортизаторах; она может иметь специальные системы охлаждения. Источники энергии питания выполняются в виде автономных агрегатов электропитания или мощных аккумуляторов.

Корабельная РЭА работает в условиях повышенной влажности, которая может достигать до 98% при $+50^{\circ}\text{C}$, при наличии солей в окружающей среде. Для подводных кораблей важны предельные размеры люков, используемых при размещении РЭА. Характер вибраций очень сильно зависит от класса корабля и места расположения на нем РЭА. На малых кораблях вибрационные нагрузки на РЭА такие же, как на самолетах, на больших кораблях условия эксплуатации приближаются к стационарным. Во всех случаях необходима надежная защита от влаги и механических воздействий. Могут потребоваться специальные меры защиты РЭА от проникающей радиации на судах с атомными энергетическими установками. Источниками питания являются автономные генераторы с частотой 50 или 400 Гц.

Основное требование к самолетной РЭА—малые габариты и вес, хорошая защита от механических воздействий. Эта РЭА работает в условиях резких изменений температуры (необходимо учитывать аэродинамический нагрев), давления, влажности и скорости. Обязательно наличие амортизации, ответственные блоки имеют герметизацию и системы охлаждения. Возможно воздействие испарений горюче-смазочных материалов, проникающей радиации от энергетических установок. Воздействие климатических условий может быть частично ослаблено, но параметры микроклимата отсека могут быть более тяжелыми, чем в наземной или корабельной РЭА. Источники питания—сеть с частотой 400—2000 Гц.

Основным требованием, предъявляемым к ракетной и космической РЭА, является особо высокая надежность ее работы при малых весе, габаритах и энергопотреблении. Она должна длительное время сохранять работоспособность, находясь в неработающем состоянии или в дежурном режиме. В наиболее тяжелых условиях будут те части космической и ракетной РЭА, на которые непосредственно влияет окружающая среда. Интенсивность воздействий при этом может быть большей, чем у самолетной аппаратуры. Относительно

Краткая характеристика основных конструктивных параметров РЭА

Параметр конструкции	Вариант конструкции		
Объем, дм ³	Свыше 300	300—10	10—0,3 (карманный)
Масса, кг	Свыше 30 (можно только перевезти)	30—3 (можно перенести)	3—0,3 (легкий)
Потребляемая энергия, Вт	Свыше 100 (сеть, агрегаты)	100—3 (аккумуляторы большой емкости)	3—0,1 (гальванические элементы и аккумуляторы средней емкости)
Сложность управления	Требуется длительная тренировка и специальное обучение (возможно несколько операторов)	Требуется обучение специалистов и изучение описания	Достаточно самостоятельного изучения инструкции
Степень защиты от дестабилизирующих факторов	Возможна длительная работа в самых неблагоприятных условиях эксплуатации (Т)	Нормальная работа при средних условиях эксплуатации (С). Возможна кратковременная работа в тяжелых (Т) условиях	В сложных условиях работы совершенно не могут работать (Л). Возможна кратковременная работа в средних (С) условиях
Конструктивная схема РЭА	Шкаф (корпус) с рабочей обшивкой из тонколистового проката; высокая степень доступности элементов при обслуживании (без применения специального инструмента); возможно использование литых или пластмассовых армированных элементов конструкции	Каркасный шкаф (корпус) с облицовкой. Отдельные субблоки — на автономных шасси. Возможны шарнирные или телескопические элементы для облегчения доступа при обслуживании и ремонте	Стойка в виде каркаса с установленными на нем панелями или блоками. Удобство ремонта и обслуживания
			<p>Менее 0,3</p> <p>Менее 0,3</p> <p>Менее 0,1 (малогабаритные и специальные источники тока)</p> <p>Не требуется специального обучения и инструкции</p> <p>Защита отсутствует</p> <p>Различные виды коробчатых или ферменных шасси. Отдельные футляры или панели</p>

более легкими будут условия работы у РЭА, расположенной в гермоконтейнерах, заполненных инертными газами (азотом, гелием). Часто приходится учитывать такие специфические факторы, как ионизация воздуха или аэродинамический нагрев, которые могут нарушить прохождение радиоволн или вообще вывести из строя аппаратуру. Источники питания могут быть весьма разнообразные: генераторы с воздушными турбинками или автономные агрегаты электропитания, гальванические элементы, аккумуляторы, солнечные батареи.

В табл. 1.1 и 1.2 даны краткие характеристики основных параметров различной РЭА, позволяющие оценить направление проектирования на стадии аванпроекта.

Данные табл. 1.1 ориентировочные. В таблице приняты следующие обозначения:

Л — легкие условия, когда элементы РЭА могут работать без дополнительных защитных приспособлений в виде футляров или кожухов (работа в комнатных условиях или в помещениях с кондиционированием воздуха).

С — средние условия: непосредственное воздействие окружающей воздушной среды, возможно влияние повышенной морской влажности, механических нагрузок, обусловленных объектом установки, и различных излучений, безвредных для человека-оператора.

Т — тяжелые условия: одновременное воздействие окружающей среды и микроклимата объекта, возможны резкие колебания температуры в пределах от -200 до $+500^{\circ}\text{C}$ и выше; резкое изменение давления до вакуума, воздействия агрессивных сред, ионизации, радиации, метеоритных частиц и т. п.

Для масштабных критериев в таблице приняты следующие обозначения:

О — обычное исполнение: крупно- и среднегабаритные объемные элементы, возможно использование навесного или печатного монтажа, а также объемных или плоских модулей.

М — миниатюрное исполнение: модульные, микромодульные и пленочные гибридные схемы, для элементов трактов ВЧ и антенн возможно использование приемов общей или частичной миниатюризации.

ММ — микроминиатюрное исполнение: пленочные гибридные (интегральные), пленочные и твердые схемы; для элементов трактов ВЧ и антенн обязательно использование методов мини- и микроминиатюризации.

Скобки указывают на редкое использование указанного вида конструкции, запятая — на эквивалентность параметров конструкций, тире обозначает отсутствие практического применения.

1.3. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Основным содержанием работ на этой стадии является составление блок-схемы РЭА и приближенное моделирование основных ее параметров. Эти работы нужно проводить в следующем порядке:

1. Укрупненные расчеты основных параметров РЭА (предельной чувствительности, общего коэффициента усиления, степени быстродействия, количества и качества информации и т. п.).

2. Оценка основных параметров функциональных узлов и отдельных каскадов (электрических и геометрических) с учетом принятого главного направления конструирования.

3. Составление полной блок-схемы всей РЭА и ее узлов.
 4. Расчет укрупненных параметров первичных источников питания.
 5. Определение конкретных областей работы человека-оператора.
 6. Выполнение эскизной компоновки РЭА с учетом укрупненных функциональных связей, удобства эксплуатации, ремонта, тепловых режимов, вибрации и других факторов.
 7. Составление перечней функциональных, унифицированных и оригинальных узлов.
 8. Составление предварительных ТЗ и ТУ на новые элементы (детали и узлы).
 9. Составление описания и выполнение комплекта эскизной конструкторской документации изделия.
- Основные конструктивно-компоновочные сведения по этапам эскизного проектирования приведены в табл. 1.3—1.8 и на рис. 1.1—1.5.

ТАБЛИЦА 1.3

Круг вопросов, решаемых аппаратом главного конструктора на стадии эскизного проектирования [1, 2]

Группа	Решаемые вопросы
Научно-техническая	Укрупненные и детальные расчеты основных параметров изделия (например, с помощью таких данных, как на рис. 1.1, или в табл. 1.4)
Внешних связей	Определение количества и качества внешних связей с заказчиком РЭА и между частями РЭА, разрабатываемыми на предприятии
Компоновок	Выполнение функциональных, геометрических, тепловых, весовых и других аналитических или чувственных моделей РЭА, отражающих основные виды связей. Определение общей компоновочной схемы: централизованной, децентрализованной или комбинированной (рис. 1. 2). Выбор типа конструкции (рис. 1. 3), оценка компоновочных параметров узлов РЭА (рис. 1. 4), оценка эффективности различных систем охлаждения (рис. 1. 5).
Документации	Отбор необходимой технической документации на используемые разрешенные к применению элементы РЭА и составление ТЗ и ТУ на вновь разрабатываемые элементы
Комплексная	Подбор сведений о результатах испытаний аналогичных систем РЭА, составление руководящих технических материалов, подготовка измерительных комплексов в лабораториях и на полигонах

ТАБЛИЦА 1.4

Обобщенные данные некоторых характерных видов РЭА

Вид РЭА	Объем, дм ³	Масса, кг	Потребляемая мощность, Вт
Наземная стационарная			
1. Приемники ламповые радиовещательные высшего класса в консольном или настольном оформлении — сетевые	40—80	20—30	80—120
2. Приемники ламповые радиовещательные низших классов:			
сетевые	8—12	4—8	30—50
батарейные	3—6	2—4	2—4
3. Приемники транзисторные комнатные	6—10	2—4	0,4—3
4. Радиолы сетевые высшего класса	60—100	20—35	80—120
5. Простые сетевые радиолы	25—40	10—20	50—70
6. Телевизоры ламповые	100—150	25—50	150—200
7. Проигрыватели ламповые	12—20	4—7	40—60
8. Магнитофоны ламповые	25—40	10—25	50—120
9. Вычислительные машины типа «Наири»	~2000	—	1200—2000
10. Малогабаритная аналоговая ЭВМ типа МН-10М	~150	—	250
11. Вычислительная машина типа «Проминь»	1000	260	450
12. Стойки телефонной аппаратуры	~600	75—300	—
13. Промышленные телевизионные установки (комплект с одной камерой, общие данные)	~400	170	—
14. Радиорелейная стойка	870	—	1500
15. Радиорелейная линия на 240 каналов	550	200	800
16. Измерительные генераторы НЧ	40—60	12—20	100—150
17. Измерительные генераторы СВЧ	60—120	20—40	200—300
18. Осциллографы	20—400	10—200	150—900
19. Ламповые вольтметры	8—15	8—25	10—50
Наземная носимая			
20. Приемники транзисторные радиовещательные	0,5—5	0,3—3	0,3—1,5
21. Микроприемники (типа «Рубин»)	0,03—0,07	0,05—0,1	0,03—0,1