

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Ульяновский государственный технический университет

С. М. Бородин

Общие вопросы проектирования радиоэлектронных средств

Учебное пособие

для студентов, обучающихся по специальности 21020165 направления 200800

«Проектирование и технология электронных средств»

Ульяновск 2007

УДК 621.38.049.77.001.63 (075)

ББК 32.844я7

Б83

Рецензенты:

Кафедра «Сети связи и системы коммутации» УВВИУС, начальник кафедры кандидат технических наук доцент Козловский В. Г.

Профессор, кандидат технических наук Ефимов А. В. (УВАУ ГА)

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

Бородин, С. М.

Б83 Общие вопросы проектирования радиоэлектронных средств : учебное пособие / С. М. Бородин. - Ульяновск : УлГТУ, 2007. - 103 с.

ISBN 978 - 5 - 9795 - 0142 - 0

В пособии рассматриваются общие вопросы проектирования радиоэлектронных средств. Рассмотрены основные термины и определения проектно-конструкторских работ, конструктивная иерархия РЭС. Описаны основные этапы проектирования и конструирования РЭС и содержание работ на каждом из них. Приведена классификация и охарактеризованы методы и принципы проектирования РЭС с использованием основ системного подхода.

Значительная часть книги удалена характеристике проектно-конструкторской документации и разработке технических требований к конструкции.

В заключительной части рассмотрены вопросы компоновки и типовые компоновочные схемы РЭС.

Пособие предназначено для подготовки студентов, обучающихся по специальности 21020165, и специалистов направления 200800 «Проектирование и технология электронных средств». Может быть полезно студентам родственных специальностей.

УДК 621.38.049.77.001.63 (075)

ББК 32.844я7

© С. М. Бородин, 2007

ISBN 978 - 5 - 9795 - 0142 - 0

© Оформление. УлГТУ, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Значимость радиоэлектронных средств в жизнедеятельности человеческого общества в настоящее время неуклонно повышается. Широкое внедрение микропроцессоров и узлов на их основе существенно изменили подходы к разработке конструкций РЭС. Это обусловило изменение содержательной направленности учебной литературы, посвященной вопросам проектирования РЭС. Анализ тематики и содержания учебников, выпущенных в последние несколько лет, показал, что основное внимание уделяется вопросам моделирования работы изделий, разработке программного обеспечения для встроенных микропроцессоров и схемотехническим вопросам. Общие вопросы проектирования, использование системного подхода в деятельности инженера-конструктора и многие другие вопросы обходят вниманием, что снижает качество подготовки специалистов.

Данное учебное пособие направлено на устранение указанного недостатка. Автором была предпринята попытка достаточно кратко, но в то же время логически последовательно изложить учебный материал, который необходим для формирования общего инженерного мировоззрения конструктора РЭС вне зависимости от его дальнейшей специализации.

В пособии последовательно рассмотрены термины и определения проектно-конструкторских работ, основные этапы проектирования и их содержание, сущность системного подхода к проектированию РЭС, классификация РЭС, требования, предъявляемые при разработке РЭС, а также охарактеризован процесс КОМПОНОВКИ РЭС.

Материалы пособия в значительной степени базируются на лекциях, которые читаются в рамках изучения дисциплин «Основы проектирования электронных средств» и «Проектирование радиоэлектронных средств» на кафедре «Проектирование и технология электронных средств» радиотехнического факультета УлГТУ.

В процессе работы над пособием были использованы материалы из учебников и других источников, представленных в библиографическом списке. Список составлен в хронологическом порядке и имеет два раздела. В первый раздел включены центральные издания, рекомендованные для подготовки инженеров-конструкторов и дальнейшего использования в практической деятельности. Второй раздел составляют внутривузовские издания. Вся приведенная литература имеется в библиотеке университета.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС

1.1. Роль конструктора РЭС в современном аппаратостроении

История РЭС насчитывает несколько поколений, каждое из которых характеризовалось своими уровнями развития функциональной насыщенности и элементной базы.

Наиболее длительным был первый этап - примерно до начала 60-х годов XX века. Основу РЭС этого периода составляли электровакуумные приборы: начиная от простейших диодов и заканчивая сложными многосеточными лампами. Значительный объем и вес электрорадиоэлементов ограничивал роль конструкторов, которые фактически были оформителями материализованной принципиальной схемы. Основной задачей конструирования было получение *оптимальной компоновки* элементов и узлов устройства или изделия. В конструкциях строго нужно было разделить входные и выходные цепи, соблюсти магнитную и электромагнитную экранировку излучающих элементов РЭС (СВЧ-элементов, дросселей, трансформаторов), а также тех элементов РЭС, работа которых сильно искажается различными наводками (предварительные усилители, каскады гетеродина, контуры генераторов). В конструкциях РЭС имела большое значение металлизация шасси с соблюдением высокой проводимости; для обеспечения устойчивой работы РЭС во многих цепях предусматривались развязки. Эстетичности отделки РЭС уделялось мало внимания.

Второй этап продолжался с середины 50-х до начала 80-х годов прошлого столетия и ознаменовался широким внедрением в схемотехнику РЭС полупроводниковых элементов: диодов, транзисторов, тиристоров. При росте функциональной насыщенности резко (примерно в 10...15 раз) уменьшились габаритные размеры и энергопотребление. Усложнение РЭС потребовало возросших психологических и физиологических затрат труда от обслуживающего персонала. Кроме того, удешевление стоимости РЭС привело к резкому росту класса бытовой аппаратуры. Появилось большое количество телевизоров, радиоприемников, магнитофонов, которые перестали быть средством роскоши. Именно в это время появилась необходимость исследования воздействия на психику человека, на его усталость элементов красоты в окружающей обстановке, удобного и не утомляющего размещения средств индикации, управления и т. п. Результатом этих исследований явились основы двух наук: эргономики и промышленной эстетики.

Главным требованием эргономики является совмещение способностей и возможностей человека-оператора с выходными возможностями РЭС. Выяснилось, что кроме эргономики на работоспособность и утомляемость человека-оператора очень сильно влияет эмоциональный настрой и ощущение красоты окружающей его обстановки.

С середины 50-х годов начало уделяться внимание промышленной эстетике в новых разработках. Ощущение красоты рождает хорошее оптимистическое настроение и хороший деловой настрой у операторов, обслуживающих РЭС. Это означает, что они меньше утомляются по ходу работы и выполняют более качественно свои функции.

Развитие технологий производства гибридных ИМС и полупроводников с заданными свойствами привели к появлению третьего поколения РЭС (70-е годы XX века). Функциональная насыщенность вновь повысилась при снижении удельных массо-габаритных характеристик. Существенный прорыв произошел в области развития средств индикации. Появились светодиоды и индикаторы различного вида на их основе, а также электролюминесцентные индикаторы. Конструкторы получили возможность существенно улучшить дизайн лицевых панелей и изделий в целом. Вместе с тем возникла проблема оптимального выбора и размещения элементов управления, индикации и контроля, связанная с психофизиологическими ограничениями объема воспринимаемой информации человеком-оператором.

В значительной степени эта проблема была решена с появлением первых микропроцессоров, которые можно отнести к классу больших интегральных схем. Они и сопутствующие периферийные ИМС составили основу РЭС четвертого поколения (с начала 80-х до середины 90-х годов XX века). Особенности функционального построения РЭС характеризуются постепенным отказом от обработки сигналов в аналоговом виде и переходом к цифровой обработке. Это потребовало от конструкторов кардинального изменения подходов к проектированию РЭС. Возникла проблема обеспечения электромагнитной совместимости и нормального теплового режима в малых объемах, которая в целом была успешно решена.

По оценке некоторых аналитиков в настоящее время идет широкое внедрение в жизнедеятельность человечества пятого поколения РЭС, основой которой являются микросхемы сверхвысокой степени интеграции - СБИС. Имея в своем составе миллионы активных элементов, они способны к высокоскоростной и многофункциональной обработке различной информации. Как правило, обработка осуществляется в цифровом виде с предварительным и обратным преоб-

разованием в нужную форму. Характерной особенностью современных элементов управления и индикации является многофункциональность, основанная на системе вложенных меню. При этом общее количество самих элементов резко сокращается, что существенно изменяет внешний вид и дизайн РЭС, ставя перед конструкторами новые задачи и требуя **уделения** большого внимания. РЭС с неудобными органами управления, с неправильным расположением органов индикации и с плохой эстетической отделкой не находят спроса у потребителей. Такие РЭС неконкурентоспособны.

Резкое усложнение РЭС потребовало от конструкторов хороших знаний по радиотехнике и радиосистемам. Сложность РЭС возросла настолько, что мало-знающий инженер не мог внести большой вклад в разработку РЭС с нужными качествами.

В это время пришлось уделять внимание требованиям надежности, так как сложные системы давали отказы. Задачи, решаемые РЭС или радиотехническими системами, стали или очень дорогими, или ответственными. Чтобы вновь создаваемые РЭС выполняла свои функции качественно и надежно, конструкторы вынуждены изучать эргономику, промышленную эстетику и вопросы надежности, работоспособности, ремонтопригодности.

Современные конструкции РЭС, начиная от ИМС и кончая готовыми изделиями, представляют неразъемное и неделимое общее, объединяющее и элементную базу, и способы коммутации, и конструктивные несущие элементы. Это требует от конструктора умения системно решать стоящие перед ним задачи.

1.2. Основные понятия и определения процесса проектирования

Термин *радиоэлектронные средства* используют для обозначения устройств различного назначения, имеющих признак общности - использование в комплексной системе обработки информации в целях обеспечения связи, навигации, управления технологическими процессами изготовления изделий в промышленности, научных исследований и других видов человеческой деятельности.

Все виды РЭС состоят из деталей. *Деталь* — это простейший элемент, имеющий ограниченный комплекс свойств, соответствующий его функциональному назначению и изготовленный из одного или нескольких материалов без использования механической сборки. Следует отметить, что приведенное

определение в большей степени относится к машиностроительным единицам, поскольку практически ко всем деталям РЭС этот термин неприемлем. Причиной являются сборочные операции при их изготовлении. Тем не менее, использование термина «деталь» правомочно, т. к. детали РЭС имеют строго определенное функциональное назначение. При конструировании РЭС часто используются термины «элемент» и «компонент», являющиеся в данной предметной области практически синонимами термина «деталь».

По функциональному признаку все элементы и компоненты РЭС условно относятся к одной из групп:

схемотехнических элементов - схемотехническая (элементная) база РЭС;

конструктивных элементов - конструктивная база РЭС.

Схемотехнические элементы, их компоновка и взаимосвязь в составе РЭС обеспечивают преобразование сигналов различной физической природы для целей, определяемых назначением изделия. Основу современной схемотехнической базы составляют микросхемы, микросборки и микроэлектронные узлы в корпусах или без них. Наряду с микроэлементной базой используются дискретные резисторы, постоянные и переменные конденсаторы, трансформаторы, переключатели, соединители, индикаторы.

Конструктивные элементы, входящие в состав РЭС, обеспечивают механическую прочность, защиту от внешних воздействий, дестабилизирующих работу РЭС (влаги, росы, инея, пониженного или повышенного давления, внешних электрических и магнитных полей), и механическое управление РЭС. Основу конструктивной базы составляют отдельные *монтажные детали* и *несущие конструкции*.

Несущие конструкции предназначены для механического закрепления, защиты от внешних воздействий и обеспечения доступности схематических элементов при сборке и эксплуатации РЭС. К конструктивной базе также относят:

а) механические устройства управления в виде кнопочных и рычажных устройств и ручек, с помощью которых обеспечивается плавное или скачкообразное вращательное или поступательное движение рабочих органов регуляторов (резисторов, конденсаторов и т. п.);

б) механизмы для механического перемещения подвижных рабочих элементов РЭС, таких как пленочные, дисковые и другого типа носители информации; электромагнитные элементы; электродвигатели, сельсины, электромагнитные муфты приводов.

Относительная условность разделения первичных элементов РЭС на схемотехнические и конструктивные обусловлена тем, что некоторые из них

выполняют функции элементов обеих групп. Например, печатная плата является не только конструктивным несущим элементом для электрорадиоэлементов, но и местом размещения их электрических соединений.

Схемотехнические и конструктивные элементы объединяются в конструктивно-законченные единицы, входящие в состав РЭС в виде пультов, блоков, шкафов, частных конструкций плат с установленными микросхемами, микросборками различной степени интеграции и дискретными элементами. Конкретный состав конструктивно-законченных единиц зависит от назначения РЭС, преимущественного использования того или иного типа схемотехнической базы (дискретные элементы или микроэлементы), условий эксплуатации (легкие, средние, жесткие) и т. п.

Условия эксплуатации следует выделить особо, так как они оказывают существенное влияние на конструктивно-технологические особенности деталей и в первую очередь деталей, образующих конструктивную базу.

При проведении проектно-конструкторских работ используются термины в соответствии с ГОСТ 2.101–68 «Разработка конструкторской документации. Термины и определения».

Изделие — любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Компоновка РЭС — размещение в пространстве или на плоскости элементов, имеющих электрические соединения в соответствии с принципиальной схемой, и обеспечение допустимого минимума паразитных взаимодействий, которые не нарушают значения расчетных выходных параметров РЭС.

Проектирование — процесс создания проекта-прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта.

Проектирование РЭС — разработка проектной и конструкторской документации, предназначенной для создания новых видов и образцов РЭС.

Определение термина «проектирование» отражает две его особенности. Во-первых, в процессе проектирования предполагаемый объект еще не материализуется, а создается лишь его прообраз на другой материальной основе (чертежи и другие документы). Во-вторых, изготовленное по проекту изделие в силу ряда причин (например, из-за недостаточной точности математических моделей и др.) оказывается неадекватным предполагаемому и, следовательно, является лишь его прототипом.

Конструирование — процесс отражения в чертежах структуры, размеров, формы, материалов, обработки и связей (внутренних и внешних) будущего изделия.

При определении понятий «проектирование» и «конструирование» обычно возникают трудности. Часто процесс проектирования называют конструированием, а иногда наоборот. Такое положение объясняется некоторым пересечением этих понятий. На начальной стадии проектирования изделия конструкторских работ, т. е. конструирования, нет (рис.1). Позднее в составе проектных работ появляется конструирование, которое продолжается и после окончания проектирования, как стадия разработки рабочей конструкторской документации. Таким образом, разработка структурной и принципиальной схем относится к чисто проектным процедурам, а сами схемы - к проектным документам.

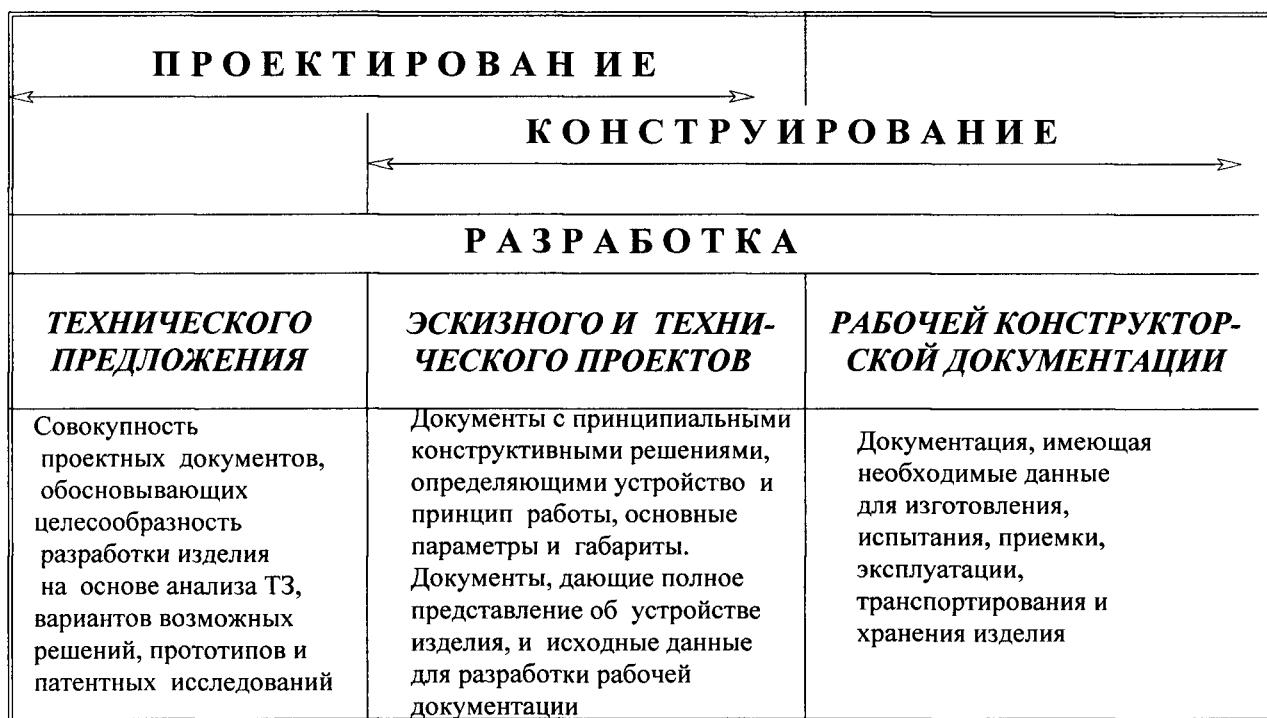


Рис.1. Взаимоотношение процессов проектирования и конструирования

Разработка чертежа общего вида изделия - пример конструирования при проектировании изделия может быть названа проектированием или конструированием, а чертеж общего вида - проектным или конструкторским документом. Но разработка чертежа - это чисто конструкторская процедура, и рабочий чертеж относится только к конструкторским документам. Следовательно, на одних стадиях разработки термины «проектирование» и «конструирование» - синонимы, а на других - их смешение недопустимо.

Проектный документ - документ, выполненный по заданной форме, в котором представлено какое-либо проектное решение, полученное при проектировании.

Проектное решение — промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования. Проектными решениями, например, являются принципиальная схема, чертеж общего вида и т. п.

Проектная процедура — совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением. К проектным процедурам, например, относятся изучение технической литературы, разработка схемы, моделирование и др.

Прототип — наиболее близкий по технической сущности и по достигаемому эффекту предшественник изделия, устройства. Например, транзисторный усилительный каскад с общим эмиттером без термостабилизации является прототипом такого же каскада, но с термокомпенсирующим диодом во входной цепи, поскольку это усовершенствование было внесено в каскад общим эмиттером позднее.

Функциональная ячейка - конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из узлов, интегральных микросхем и других навесных ЭРЭ, установленных на одну или нескольких печатных плат. Ячейка, как правило, не имеет самостоятельного эксплуатационного назначения. К ячейкам следует также относить узел печатный, типовой элемент замены и субблок.

Блок - функционально и конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из ячеек, кассет и ЭРЭ. Блок, как правило, не имеет самостоятельного эксплуатационного назначения. Например, жесткий диск ПЭВМ функционально и конструктивно завершен, но не может иметь самостоятельного эксплуатационного назначения.

Прибор — функционально и конструктивно законченная сборочная единица, состоящая из ячеек, кассет и ЭРЭ, имеющая самостоятельное эксплуатационное назначение. Например, монитор ПЭВМ является прибором, так как он эксплуатируется автономно.

Электрорадиоэлемент — прибор или устройство, выполняющее функции преобразования, распределения, переключения электрических сигналов, реализуемых электрической схемой. К ЭРЭ следует относить: резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, микросхемы, трансформаторы, реле, переключатели, тумблеры, кнопки, предохранители и др.

Элементная база - совокупность ЭРЭ, применяемых в электрическом монтаже с учетом их конструктивно-функциональной принадлежности. Например, элементной базой современных РЭС являются цифровые и аналоговые ИМС, дискретные ЭРЭ или их сочетание.

В целом процесс разработки нового изделия представлен на рис.2. На этапе системотехнического проектирования разрабатываются структурные и функциональные схемы. На этапе схемотехнического проектирования - принципиальные. Математическое моделирование позволяет в ряде случаев избежать физического моделирования, связанного со значительными материальными и временными затратами.

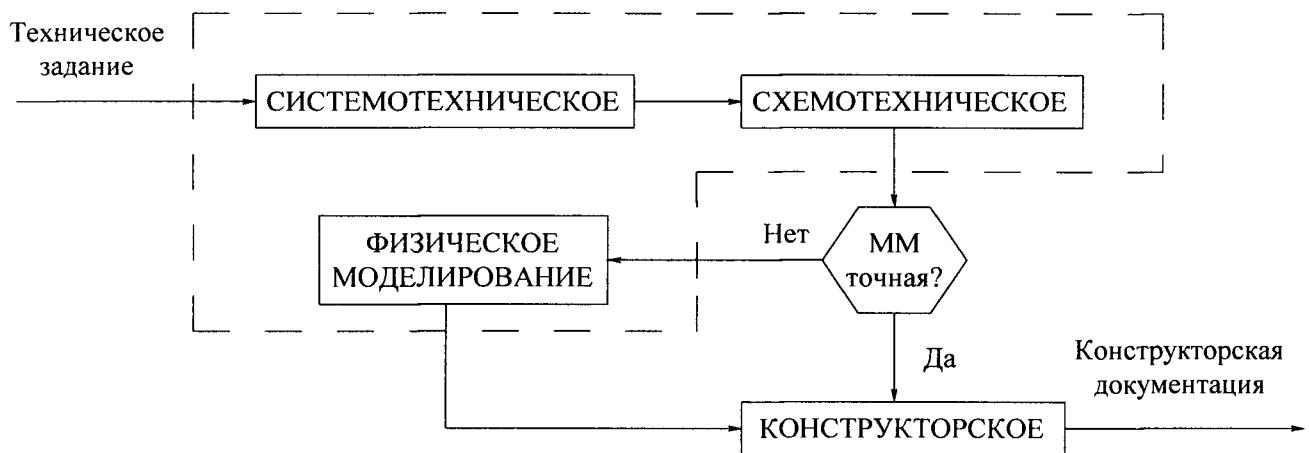


Рис. 2. Обобщенная схема разработки нового изделия

При успешном моделировании нового изделия разрабатывается конструкторская документация для его производства. Реально весь процесс разработки изделия разбивается на ряд последовательно выполняемых и периодически корректируемых этапов.

1.3. Конструктивная иерархия РЭС

Современные конструкции РЭС классифицируются по двум основным признакам.

По уровням функциональной сложности РЭС можно подразделить на следующие группы:

- радиоэлектронная система (например, система управления воздушным движением);
- радиоэлектронный комплекс (например, навигационный комплекс);

- в) блок (например, блок передатчика);
- г) субблок (например, субблок формирования опорных частот);
- д) функциональный узел (например, узел опорного генератора).

По сложности уровня компоновки конструкции подразделяют на четыре вида (рис.3):

Первый уровень компоновки. Микросборки, микросхемы и электрорадиоэлементы. Данный уровень включает в себя два вида радиоэлектронных модулей (РЭМ):

РЭМ-0 - бескорпусные компоненты и детали, изготавляемые без сборки;

РЭМ-1 - корпусированные элементы.

Микросхемы для широкого применения выпускаются крупными сериями специализированными заводами, а микросборки (в основном гибридные) разрабатываются для конкретной аппаратуры.

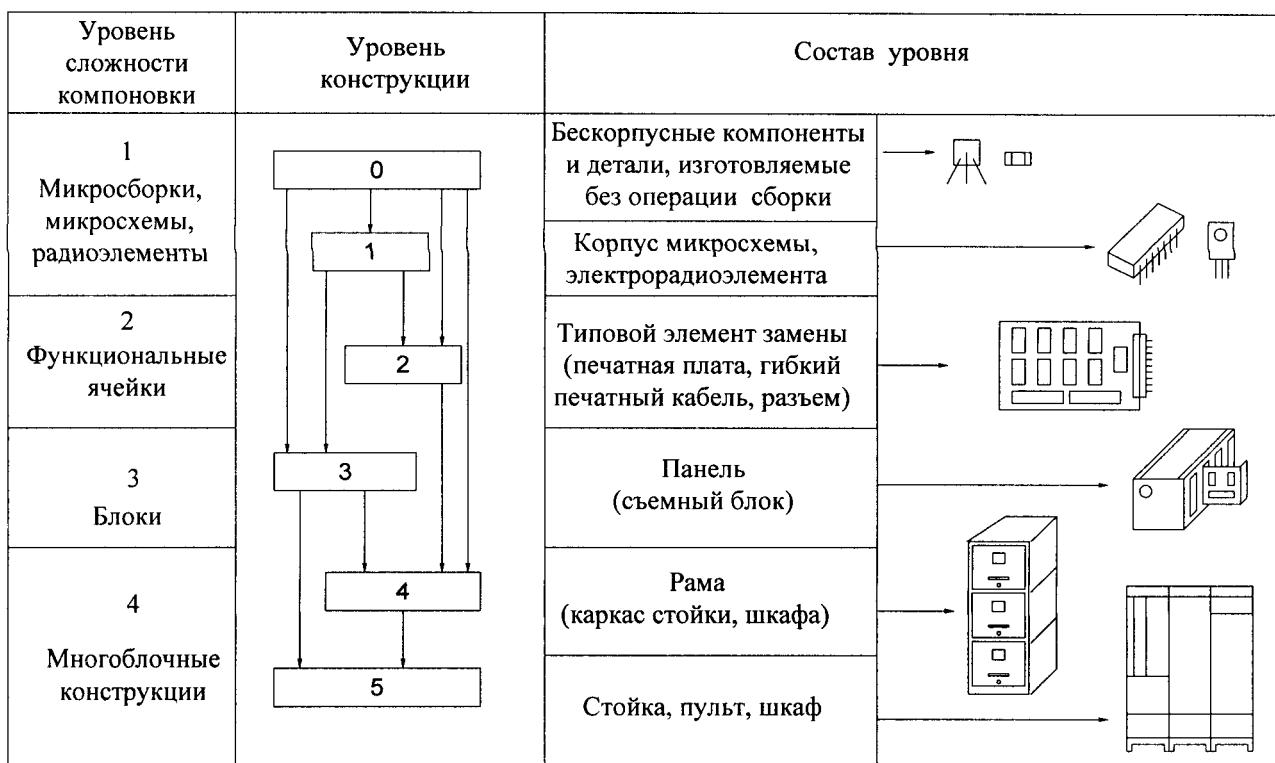


Рис. 3. Конструктивная иерархия РЭС

Второй уровень компоновки. Функциональные ячейки, типовые элементы замены или РЭМ-2. На общем несущем основании компонуются как элементы первого уровня, а также элементы коммутации и контроля. В качестве несущих оснований функциональных ячеек чаще всего применяются печатные платы и металлические рамки.

Третий уровень компоновки. Блоки (РЭМ-3). Компоновка блоков осуществляется путем сборки ФЯ в пакеты, и корпусирование пакетов в блоки. Блоки имеют различные конструктивные разновидности. Их достоинства и недостатки будут рассмотрены в разделе 7.

Четвертый уровень компоновки. Многоблочные конструкции, в которых блоки компонуются в общем несущем основании. Таким основанием для бортовых РЭС может служить в частном случае общая амортизационная рама или стеллаж, для стационарной - шкафы, стойки и пульты. Данный уровень включает в себя две группы РЭМ: РЭМ-4 и РЭМ-5.

Приведенное деление РЭС по конструктивным и функциональным признакам позволяет оптимизировать процесс проектирования на различных этапах.

1.4. Проблемы проектирования и оптимизации конструкций РЭС

Современный этап проектирования и производства РЭС характеризуется все большим внедрением микроэлементов и элементов для поверхностного монтажа в рамках комплексной микроминиатюризации.

Под *комплексной микроминиатюризацией* в широком смысле понимают системный подход к применению в РЭС всех средств микроэлектроники, отображающий внедрение новых принципов создания РЭС на базе ИС сверхвысокой степени интеграции и разработок математического и аппаратурного обеспечения для автоматизированных систем проектирования, конструирования, изготовления и контроля.

Основной задачей КММ при все возрастающей сложности аппаратуры является обеспечение ее высокой надежности, малых масс и объемов, повышенных эксплуатационных характеристик, технологичности и серийноспособности.

Выполнение этих требований возможно в первом приближении в том случае, если практически все узлы, блоки и устройства, входящие в более сложные комплексы, имеют соизмеримые значения основных конструктивно-технологических показателей (надежность, масса, объем, процент выхода годных, стоимость и т. п.). Если снизелировать все уровни основных показателей устройств РЭС не удается, то можно утверждать, что задача КММ решается не полностью, а выбранный вариант конструкции нельзя считать оптимальным. Например, если большинство устройств комплекса выполнено на ИС, а хотя бы одно из них на дискретных элементах, то именно оно, имея наименьшую на-

дежность, будет в целом уменьшать надежность всего комплекса. То же самое можно утверждать и о массе, технологичности, стоимости.

Примерами неполного решения вопросов КММ являются все еще существующие диспропорции по основным показателям в конструкциях аппаратуры, такие, как значительные «доли» масс и объемов кабельной сети и систем охлаждения в многоблочных конструкциях, элементов коммутации (разъемов и жгутов) - в блоках, несущих конструкций (плат, рамок) - в функциональных ячейках и т. д. Эти диспропорции приводят к значительным дезинтеграциям основных показателей конструкций при переходе от уровня элементной базы к более высоким компоновочным уровням. Неэффективность конструкции характеризуется коэффициентами дезинтеграции ($g > 1$), равными отношениям конструктивных показателей на различных уровнях компоновки. Например, на уровне блока коэффициенты дезинтеграции массы, объема, допустимой теплонапряженности соответственно равны

$$g_m = \frac{m_\delta}{m_N}; \quad g_V = \frac{V_\delta}{V_N}; \quad g_{Py} = \frac{P_{y\delta IC}}{P_{y\delta b}}, \quad (1)$$

где m_δ , V_δ , $P_{y\delta b}$ – масса и допустимая удельная мощность рассеивания блока; m_N , V_N , $P_{y\delta IC}$ – суммарная масса, объем бескорпусных ИС в блоке и допустимая удельная мощность рассеивания в кристалле ИС.

Коэффициенты дезинтеграции в блоке могут составлять сотни и тысячи единиц. Аналогично могут быть рассмотрены коэффициенты дезинтеграции ПО другим определяющим параметрам.

Значительное уменьшение дезинтеграции по определяющим параметрам является основной задачей КММ. Это возможно за счет разработки единой технической политики при обеспечении принципа совместимости узлов по надежности, массам, объемам, планарности конструкций, технологии их изготовления, стоимости, массам объемам, планарности конструкций, технологии их изготовления, стоимости, срокам разработки и др.

К основным направлениям КММ относятся:

- а) дальнейшее развитие и внедрение в практику проектирования, конструирования и технологии изготовления новых принципов схемотехники (микросхемотехники);
- б) разработка новых принципов компоновки РЭС;
- в) совершенствование и развитие новых способов и методов коммутации;
- г) повышение эффективности систем теплопередачи при одновременном уменьшении их масс и объемов;

- д) разработка и промышленное освоение новых видов прочных, жестких и теплопроводящих материалов несущих конструкций;
- е) дальнейшая автоматизация проектных, конструкторских работ и технологии производств.

Под термином «*оптимизация конструкции РЭС*» в узком смысле можно понимать выбор ее оптимальных форм, объемов, элементной базы, тепловых режимов и т. п., т. е. выбор оптимального варианта конструкции РЭС. В более широком смысле он включает в себя выбор конструкции более сложных устройств и их комплексов, оптимальных по комплексному показателю качества конструкции (критерию оптимизации), полученных за счет оптимизации, самой структуры и параметров проектируемых устройств и всего комплекса в целом.

Комплексный показатель качества конструкции неразрывно связан с совокупностью его материальных параметров, что обеспечивает требуемые значения функциональных параметров. Он может быть представлен в виде линейной и нелинейной функций, а оптимизация его может быть проведена методами последовательных итераций (приближений и подбора) или методами линейного и нелинейного программирования с помощью ЭВМ.

В данном случае примем выражение комплексного показателя качества конструкции в виде линейной функции, зависящей от материальных показателей вида

$$K = \varphi_m m_0 + \varphi_V V_0 + \varphi_P P_0 + \varphi_C C_0 + \varphi_\Lambda \Lambda_0 + \varphi_T T_0, \quad (2)$$

где $\varphi_m, \varphi_V, \dots, \varphi_T$ – коэффициенты значимости, зависящие от назначения и условий эксплуатации аппаратуры, определяемые, как правило, методом экспертных оценок;

m_0, V_0, \dots, T_0 – материальные параметры аппаратуры, нормированные относительно какого-либо заданного их значения (либо ПО ТЗ, либо относительно наиболее сложного варианта).

Как видно из приведенного выражения, оптимальной будет конструкция, которая обладает минимальным значением комплексного показателя качества, т. е. задача сводится к выбору варианта с его минимальным значением.

Решение задач оптимизации конструкций РЭС включает:

- а) составление перечня исходных данных, их анализ и принятие решения;
- б) формирование математической модели;
- в) составление структурной или функциональной электрической схемы;
- г) расчет материальных показателей конструкции на ранних этапах проектирования и сравнение их с допустимыми на них ограничениями;

д) в случае невыполнения условий на ограничения материальных показателей составление новых вариантов структурного построения и расчет новых значений этих показателей конструкции; сравнение их с допустимыми;

е) в случае выполнения условий на ограничения материальных показателей расчет комплексных показателей качества для каждого варианта и выбор оптимального ИЗ НИХ.

В перечень исходных данных входят:

а) подгруппа условий (например, условия эксплуатации, назначение и тип устройства);

б) подгруппа ограничений на структуру (например, вид сигнала, направление конструирования);

в) подгруппа состава качественных показателей (например, за определяющие приняты надежность, масса, стоимость);

г) подгруппа ограничений (по допустимым отклонениям) на некоторые из этих показателей качества.

Решение задач оптимизации конструкций на ранних стадиях проектирования РЭС возможно, если с определенной точностью можно определить наиболее важные показатели качества с допустимой на этих этапах инженерной точностью расчетов, а далее как критерий оптимизации - комплексный показатель качества. При этом надо обязательно учитывать основные тактико-технические и специальные требования к конструкции РЭС, отраженные в действующей нормативно-технической документации.

Количественная оценка на этапе технического предложения таких материальных показателей комплекса РЭС, как масса и объем, при заданных технических характеристиках осложняется тем, что в этот период отсутствуют исходные для их расчета конструкторские документы (сборочные чертежи узлов, функциональных ячеек, блоков). Основным исходным документом на этом этапе является электрическая функциональная или принципиальная схема. На ее основе возможны количественные оценки надежности, потребляемой мощности, стоимости. Зная потребляемую мощность и задаваясь допустимой удельной мощностью рассеивания, можно определить минимально допустимый объем конструкции устройств и комплекса в целом. Это правило обычно относится к конструкциям с высокими удельными мощностями рассеивания (цифровых РЭС). Если эта мощность, например, для аналоговых РЭС, довольно низкая, то допустимый объем может быть рассчитан по табличным значениям.

Эта задача решалась на более поздних этапах разработки известными методами расчетов объемов и масс по чертежам конструкции и выбранным материалам. С учетом требований комплексной микроминиатюризации и анализа прогрессивных методов конструирования РЭС она может быть решена на этапе раннего проектирования, если руководствоваться следующими **положениями**:

а) любой комплекс РЭС независимо от его назначения и объекта установки может содержать как специфические по своей конструкции устройства (например, индикаторы, мониторы, табло отображения), так и устройства, выполняемые на микросборках;

б) оценка масс специфических конструкций устройств m_{cn} может базироваться на опыте разработок прототипов в отечественной и зарубежной практике или на расчете удельных коэффициентов этих устройств; отметим, что задача определения удельных коэффициентов является сложной и многокритериальной и требует статистических данных;

в) при расчете массы комплекса РЭС предполагается известной масса кабельной сети m_{cab} между устройствами комплекса;

г) устройства, выполняемые на ИМС, могут содержать в своем составе определенное число цифровых, аналоговых и силовых модулей (последние являются децентрализованными встроенными вторичными источниками питания, выполненными на силовых ИМС);

д) каждая ИМС в зависимости от того, какие функции и сколько их выполняет, обладает определенной массой, которая, как правило, зависит от типа корпуса ИМС. Поэтому расчет масс не вызывает затруднений.

Если рассчитанная масса комплекса превышает массу по техническому заданию, то необходима смена направления конструирования, т. е. смена элементной базы и методов компоновки.

1.5. Стандартизация и унификация конструкций РЭС

При построении системы несущих конструкций РЭС (несущая конструкция - элемент или совокупность элементов конструкции, предназначенные для размещения составных частей аппаратуры и обеспечения их устойчивости к воздействиям в заданных условиях эксплуатации) важное значение приобретают **типизация и унификация**. Типизация и унификация являются основными методами стандартизации.

Типизация заключается в рациональном сокращении видов объектов путем установления некоторых типовых, выполняющих большинство функций объек-

тов данной совокупности и принимаемых за основу (базу) для создания других объектов, аналогичных или близких по функциональному назначению. Поэтому этот метод часто называют *методом базовых конструкций*, где под базовой несущей конструкцией понимают несущую конструкцию, являющуюся основой для модификации РЭС (рис.4). Следует иметь в виду отличие базовой несущей конструкции от *унифицированной несущей конструкции*, под которой понимается несущая конструкция, предназначенная для применения в аппаратуре различного назначения.

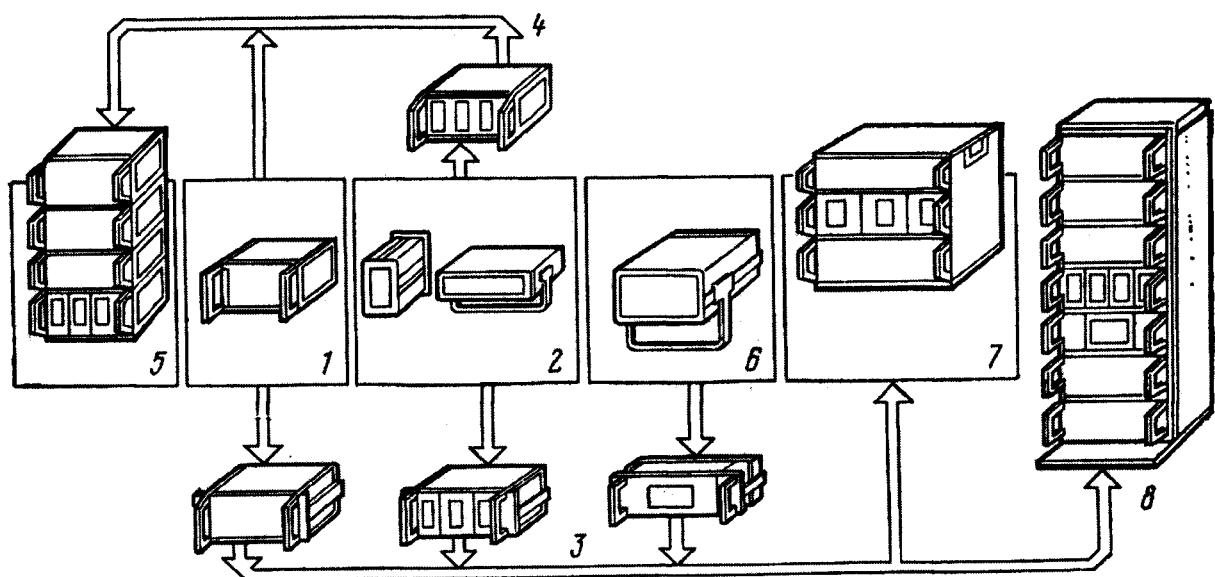


Рис. 4. Система базовых несущих конструкций измерительных приборов:

1 - корпус комплектных настольных блоков; 2 - корпуса малогабаритных блоков общего назначения; 3 - корпуса блоков стоечного исполнения; 4 - настольный корпус с набором малогабаритных блоков; 5 - установка комплектных наборов блоков «прибор на прибор»; 6 - корпус малогабаритного осциллографического блока; 7 - настольный шкаф с набором блоков; 8 - передвижной шкаф с набором блоков

С помощью метода несущих конструкций определяются конструкции, наиболее характерные и оптимальные для рассматриваемого класса РЭС при разработке конкретного устройства или комплекса устройств. Объект типизации может претерпевать некоторые частичные изменения или доработки для выполнения определенных заданных функций. Метод базовых конструкций обеспечивает сохраняемость только отдельных объектов из возможной совокупности. Другими словами, этот метод распространяется на малое число объектов большого числа функций.

Большой технико-экономический эффект метода базовых конструкций заключается в следующем:

при разработке новых устройств используется проверенная базовая конструкция, исключающая поиски возможных решений и возможные ошибки;

обеспечивается большая преемственность в производстве устройств, созданных на одной базе; значительно ускоряется подготовка производства и снижаются расходы на ее выполнение;

значительно облегчаются условия эксплуатации и ремонта устройств, имеющих много общих конструктивных элементов;

вокруг базовых (типовых) изделий могут создаваться различные модификации (типовые ряды) путем некоторых изменений типового изделия.

Применение метода базовых конструкций (рис.5) непосредственно связано с унификацией изделий и с последующей их стандартизацией (например, корпусов блоков аппаратуры).

Метод унификации — основной метод стандартизации, направленный на рациональное сокращение существующей номенклатуры объектов путем отбора и широкого использования некоторых изделий или создания новых изделий, т. е. метод унификации обладает определенной универсальностью. Универсальность его проявляется и в том, что метод исключает из обращения другие возможные варианты объектов. Практическая работа с применением метода унификации может осуществляться на разных уровнях и в различных аспектах деятельности: внутрипроектной, межпроектной, отраслевой, межотраслевой и др. Работы по унификации конструкций могут и не завершаться разработкой соответствующих стандартов, но имеют большое самостоятельное значение, и поэтому они в ряде случаев рассматриваются как работы, предшествующие стандартизации.

Унификация как метод стандартизации имеет следующие признаки:

- а) единообразие в конструктивном исполнении устройства;
- б) функциональная законченность устройств;

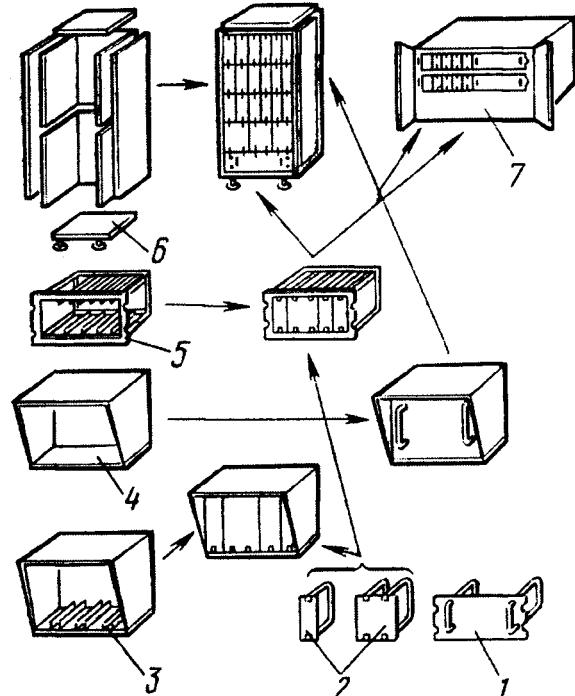


Рис.5. Система несущих конструкций РЭС:

1 – комплектный вставной блок;
2 – частичные вставные блоки;
3 – кожух для частичных вставных блоков; 4 – кожух для комплектного вставного блока; 5 – блочный каркас;
6 – стойка; 7 – щит

- в) подчинение основных параметров устройств общим требованиям или подчинение основных параметров ряда определенному закону;
- г) возможность использования унифицированных изделий в составе устройств или систем различного функционального назначения, т. е. определенная универсальность;
- д) обеспечение взаимозаменяемости на различных конструктивных уровнях с учетом наличия единых габаритных, установочных и присоединительных размеров.

Унификация приводит к сокращению номенклатуры изделий в пределах устройства, класса устройств или целых групп. Она неразрывно связана с наличием ряда одинаковых или кратных базовых установочных и присоединительных размеров.

В настоящее время наблюдается тенденция системного подхода к решению задачи унификации базовых несущих конструкций РЭС. Одним из основных вопросов разработки унифицированной системы базовых несущих конструкций является вопрос о формировании ее структуры, которая определяет внутреннюю организацию системы, а также установление уровней соотнесения элементов структуры. При этом каждый уровень должен иметь присущие ему характеристики, а элементы, соотнесенные с ним, — вполне определенные признаки. Создание унифицированной системы БНК с широкой вариантностью компоновки позволяет на основе ограниченного числа базовых элементов получить неограниченное число компоновочных решений РЭС. В настоящее время проектировщики РЭС пытаются решить этот вопрос с позиций комплексного охвата всех конструктивных элементов и их типовых компоновок.

Размерно-модульная координация, или модульность РЭС, проявляется двумя стандартизируемыми характеристиками: размерностью модуля и рядом размерных чисел. Ряд размерных чисел рекомендуется строить на основе ряда предпочтительных чисел. Ряды предпочтительных чисел, устанавливаемые нормативно-технической документацией, относятся к числу важнейших конструкторских норм. В настоящее время разработано несколько систем конструктивных элементов на базе размерного модуля, составляющего 20 мм.

Исходя из принципа входности блоков, выбираются размеры стоек и шкафов кратными размерам основного модуля-блока с учетом запасов на зоны коммутации. В аппаратуре различных классов рекомендуется использовать ограниченное число плат типономиналов.

На печатные платы устанавливаются ЭРЭ, а также корпусированные или бескорпусные микросхемы и МСБ. Размеры этих элементов характеризуются

своей модульностью, причем размерный модуль для этих элементов выбирается равным 0,05; 0,5; 5 мм.

Таким образом, система унифицированных конструкций РЭС опирается на следующую систему размерных модулей: 0,05; 0,5; 5,0 и 20 мм.

1.6. Технологичность конструкции

Технологичность изделия — это совокупность свойств изделия, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства и изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условий изготовления, эксплуатации и ремонта. Другими словами, можно сказать, что технологичность - это приспособленность к производству.

Отработка конструкции изделия на технологичность производится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации.

Задачи отработки конструкции РЭС на технологичность могут быть определены следующим образом:

- а) минимальное количество составных частей и номенклатуры изделий;
- б) минимум доводочных и регулировочных операций после сборки;
- в) максимальное использование взаимозаменяемости, контролепригодности, инструментальной доступности элементов и узлов;
- г) максимальное использование унифицированных, нормализованных и стандартизованных деталей, узлов и материалов;
- д) обеспечение технологичной компоновки;
- е) выбор правильных установочных баз;
- ж) использование новых материалов с улучшенными свойствами и новых технологических процессов.

Вид технологичности определяется признаками, характеризующими область проявления технологичности конструкции изделия (рис.6). Различают производственную и эксплуатационную виды **технологичности**:

Производственная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат средств и времени на:

- конструкторскую подготовку производства;
- технологическую подготовку производства;
- процессы изготовления, в том числе контроля и испытаний.



Рис. 6. Виды технологичности и факторы, определяющие требования к ней

Эксплуатационная **технологичность** конструкции изделия проявляется в сокращении затрат времени и средств на технологическое обслуживание и ремонт изделия.

Главными факторами, определяющими технологичность конструкции изделия, являются:

- вид изделия;
- объем выпуска;
- тип производства.

Вид изделия определяет главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к технологичности конструкторского изделия.

Объем выпуска и тип производства определяют степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специализацию всего производства.

Вид оценки характеризует метод сравнения конструктивных решений и обоснования выбора оптимального варианта конструкции изделия.

Оценка технологичности конструкции изделия может быть двух видов: качественной или количественной.

Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя.

Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной оценке и определяет целесообразность количественной оценки и соответственно затрат времени на определение численных значений показателей технологичности сравниваемых вариантов.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований технологичности конструкции.

Технологичность конструкции изделия оценивают количественно с помощью системы показателей (рис. 7).

При проектировании изделия наиболее важны конструкторские показатели, которые можно объединить в три группы **показателей**:

использования;

повторяемости;

НОВИЗНЫ.

Эти группы определяют трудоемкость изготовления изделия. К ним можно отнести следующие показатели:

использования марок материалов;

использования оригинальных деталей и сборочных единиц;

использования точных деталей;

использования сложных сборок;

использования оригинальных электрорадиоэлементов и микросхем;

использования типоразмеров установочных элементов;

типоразмеров печатных плат;

использования базовых (типовых) несущих конструкций.

Указанные показатели рассчитываются как отношение указанных деталей (материалов) к общему количеству деталей (материалов), используемых в изделии.

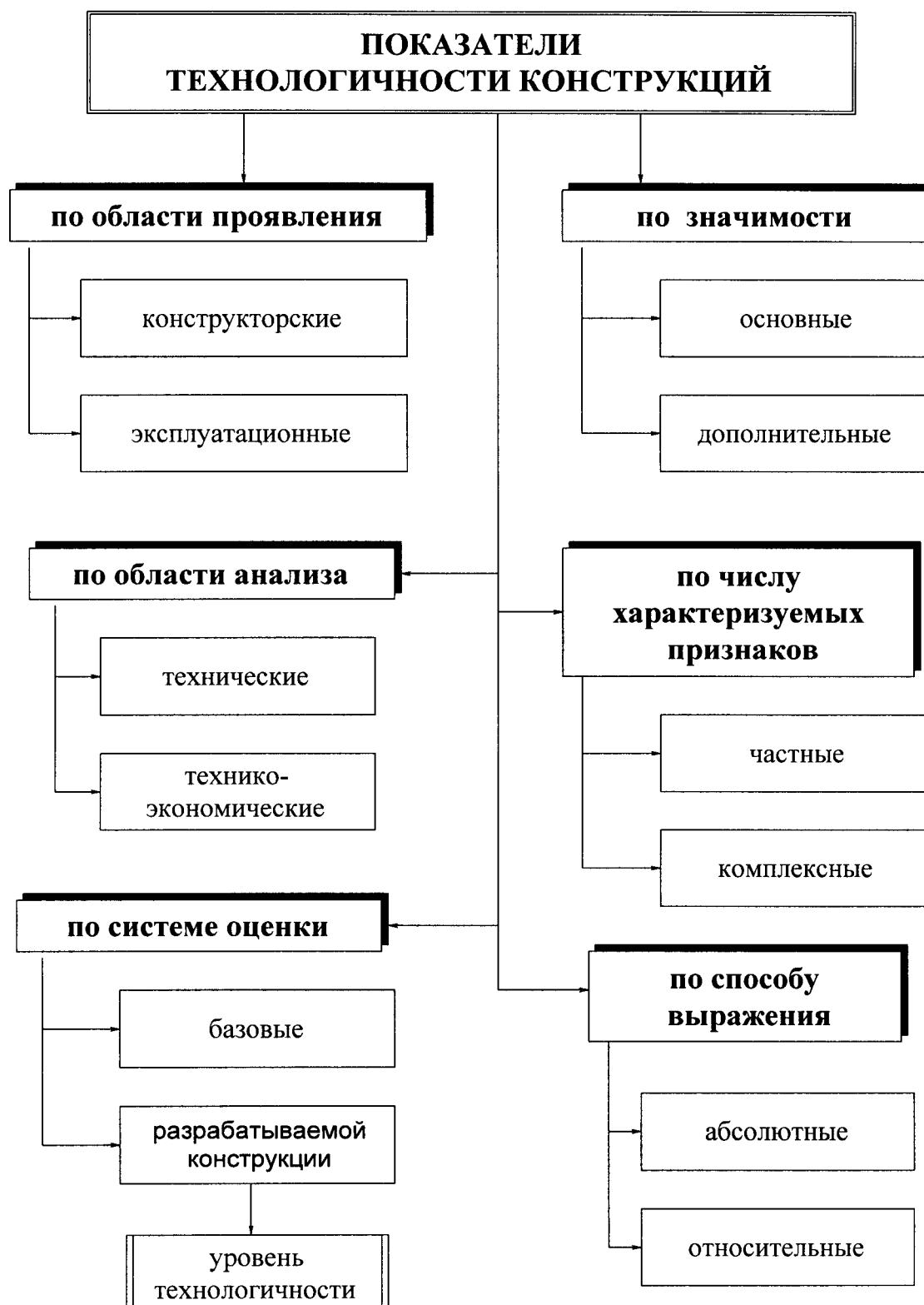


Рис. 7. Классификация показателей технологичности конструкций

1.7. Основные этапы проектирования РЭС и их характеристика

Разработку и производство нового изделия целесообразно начинать на основании изучения потребности общества и его технико-экономических возможностей. Изделия, подлежащие разработке и постановке на производство, по техническому уровню и качеству должны соответствовать требованиям, находящимся на уровне лучших отечественных и мировых достижений или превосходить их. Это обеспечит конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках и экономическую эффективность.



Рис. 8. Последовательность проведения проектно-конструкторских работ

Процесс проектирования начинается с выбора основного научно-технического направления и разработки плана работ в соответствии с ГОСТ 2.103-68. Общая последовательность и взаимосвязь этапов проектирования представлена на рис. 8.

1.7.1. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

Начальным этапом комплекса работ по созданию и освоению новых образцов РЭС являются научно-исследовательские работы.

Цель научно-исследовательских работ состоит в определении принципиальной возможности и экономической целесообразности создания изделия с заданными техническими характеристиками. Кроме того, формируются научно обоснованные данные для разработки технического задания. Производится предварительная теоретическая и эксплуатационная проработка алгоритмов функционирования РЭС и принципов реализации конструкции.

Проведение НИР подразделяется на следующие этапы:

- а) разработка технического задания на выполнение НИР;
- б) выбор направления исследования;
- в) проведение теоретических и экспериментальных исследований;
- г) обобщение и оценка результатов исследований.

Основанием для проведения НИР является заказ-наряд или договор. Обязательным исходным документом, определяющим цель, содержание, порядок проведения работ, а также намечаемый способ реализации результатов НИР, является техническое задание на выполнение НИР, которое в общем случае должно состоять из следующих разделов:

- основание для проведения работ;
- этапы НИР;
- основные требования к выполнению НИР;
- способ реализации результатов НИР;
- перечень технической документации, предъявляемый по окончании работ;
- порядок рассмотрения и приемки НИР;
- технико-экономическое обоснование;
- приложения.

Этап «Выбор направления исследования» выполняют для систематизированного анализа исследуемого вопроса и выявления на его основе направления исследований.

Этап «Теоретические и экспериментальные исследования» проводят в целях получения необходимых теоретических обоснований предлагаемого решения по объекту проектирования, подтвержденных, как правило, экспериментальными исследованиями.

Рекомендации законченных НИР должны обеспечивать возможность создания изделий, соответствующих по своему техническому уровню высшей категории качества с учетом научного прогнозирования на период их производства и рационального использования сырья, материалов, топлива и энергии.

Результатом НИР является научно-технический отчет, формируемый на последнем этапе работ и содержащий теоретические и экспериментальные ис-

в) основные технические характеристики, конструкторские параметры; надежность; стоимость; рекомендуемые для использования схемные элементы; общетехнические требования: пределы температуры, влажности, колебания напряжения сети, помехозащищенность и т. п.);

г) требования к источникам питания.

В ТЗ дается ссылка на специальные документы, которые подробно и тщательно характеризуют этапы разработки, заводские и государственные испытания и порядок разрешения споров между разработчиками и заказчиками.

ТЗ должно охватывать всю необходимую информацию на разработку нового изделия (но очень кратко и очень четко).

ТЗ оформляют в соответствии с общими требованиями к текстовым конструкторским документам по ГОСТ 2.105–95 на листах формата А4 без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней. Номера листов проставляют в верхней части над текстом.

Более подробно содержание требований, приводимых в ТЗ, будет рассмотрено в разделе 6.

1.7.3. Техническое предложение

Техническое предложение (ГОСТ 2.118–73) – это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа ТЗ заказчика и различных вариантов возможных решений изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого изделия и патентные исследования. Документация, разрабатываемая на данном этапе, шифруется индексом «П» (предварительный этап).

Цель технического предложения: теоретическая и экспериментальная проверка основных положений ТЗ и на основе этого уяснения реальности выполнения ТЗ.

На этапе ТП, после тщательного изучения ТЗ разработки, проводят дополнительные исследования и расчеты с целью выяснения технико-экономической возможности и целесообразности разработки нового изделия. Эти расчеты и исследования проводятся как своими силами (в лабораториях и отделах той организации, которая разрабатывает данное изделие), так и с привлечением ведущих специалистов со стороны, специализированных организаций и предприятий. В результате разработок и расчетов на этапе технического предложения разрабатываются до-

следования, их анализы и выводы, определяющие научно-технический подход к реализации алгоритмов и принципов построения РЭС для получения конечных результатов проектирования. Общие требования, структура и правила оформления отчета приведены в ГОСТ 7.32–2001.

Для выявления наиболее эффективных решений по результатам НИР могут быть проведены опытно-конструкторские работы. ОКР выполняются в соответствии с техническим заданием для разработки конструкторской документации на изделие, включая приемочные испытания опытных образцов (опытных партий).

Опытно-конструкторские работы являются процессом инженерного воплощения теоретических результатов, полученных в НИР, в схему и конструкцию изделия. **Цель проведения ОКР** — оценка возможности реализации наиболее важных теоретических результатов существующими технологиями и анализ эффективности их использования для получения изделия с предполагаемыми свойствами и техническими характеристиками.

1.7.2. Разработка технического задания

Разработка технического задания выполняется на основе результатов исследований, с одной стороны, и запроса жизни, с другой стороны. Заказчики составляют первоначальный вариант технического задания. Затем назначается госкомиссия по разработке ТЗ (для изделий межведомственного и государственного значения). В комиссию входят представители заказчиков, представители разработчиков и приглашенные специалисты, которые являются ведущими в данной отрасли или в данном направлении.

Техническое задание должно содержать необходимые и достаточные требования для разработки изделия и не ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе им оптимального решения поставленной задачи.

При составлении ТЗ все пункты должны быть изложены ясно и технически понятно, с тем, чтобы не могли возникнуть разнотечения и разнотолкования у заказчиков и разработчиков. ТЗ должно охватывать все параметры будущего изделия и должно **отражать**:

- а) назначение РЭС (для специализированных изделий указывается подробный перечень решаемых задач);
- б) условия эксплуатации, хранения и транспортирования (для специализированных РЭС указываются объекты, с которыми должна сопрягаться аппаратура, условиястыковки и т. д.);

кументы, перечень которых указан в ТЗ.

На этапе ТП макетирование официально не предусматривается (т. е. макет изделия не изготавливается и никому не показывается).

Результаты этапа ТП защищаются представителями разработчиков перед госкомиссией. Госкомиссия утверждает данный этап с дополнительными рекомендациями или без них и дает разрешение на эскизное проектирование.

1.7.4. Эскизноепроектирование

Эскизный проект (ГОСТ 2.119-73) это совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия. Документации присваивается индекс «Э».

Цель эскизного проектирования - проверить и показать в материале и металле работоспособность идеи, сформулированной в ТЗ. В процессе ЭП намечаются и проверяются главные конструктивные и технологические решения. На этом этапе окончательно отрабатываются структурная и функциональная схемы идается первый рабочий вариант принципиальной электрической схемы, окончательно выбирается элементная база и конструктивное оформление печатных плат.

На основе принципиальной электрической схемы разрабатывается макет изделия лабораторно-настольного типа. Для данного макета не разрабатывается оригинальная конструкция, а наоборот, используются все имеющиеся у данной организации элементы прежних конструкций и старых макетов. В одних случаях макет исполняется с кожухом, в других - без кожуха. Основное назначение макетирования - проверить основные компоновочные и конструктивные решения и возможность нормальной работы изделия в данном конструк-

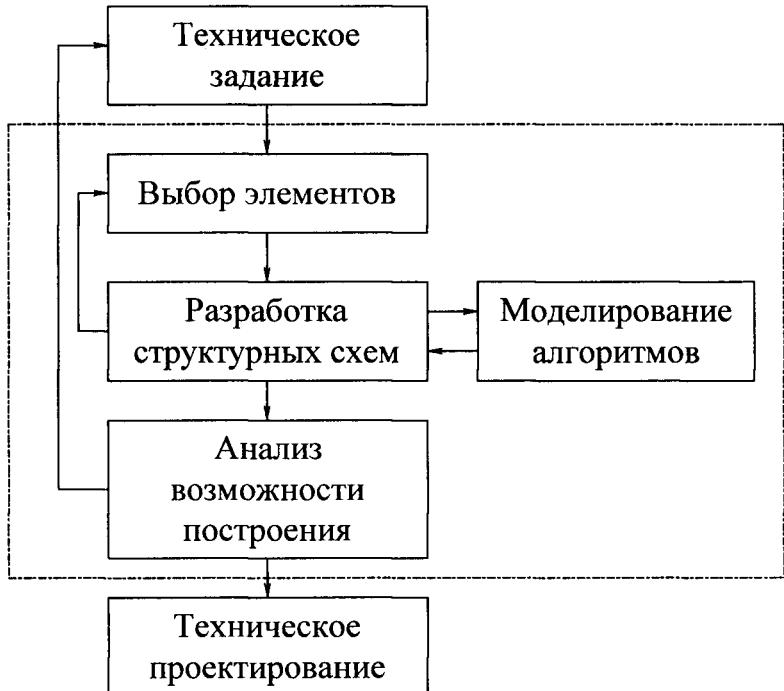


Рис.9. Этап эскизного проектирования и его взаимосвязи в процессе проектирования

тивном оформлении. На этом этапе определяются уточненные габариты и вес будущего изделия, а также варианты его возможного размещения на объектеносителе РЭС. Помимо макета изделия разрабатываются чертежи общих видов, габаритные чертежи и монтажная схема размещения изделия на объекте или в помещении.

Макет изделия в стадии эскизного проектирования проходит заводские испытания по неполной программе. После этого документы данного этапа и иногда макет предъявляются госкомиссии для рассмотрения и утверждения.

Эскизный проект рассматривается госкомиссией и утверждается с дополнениями и рекомендациями или без них. Но результатам защиты эскизного проекта (положительные результаты) госкомиссия разрешает разрабатывать технический проект.

1.7.5. Техническое проектирование

4 стадия - техническое проектирование (ПТ). Обратная аббревиатура используется для того, чтобы не было путаницы с этапом технического предложения. Шифр документов - «Т». Последовательность и содержание работ должны соответствовать ГОСТ 2.120-73.

На стадии технического проектирования окончательно отрабатывается принципиальная электрическая схема и на основе ее, руководствуясь техническим заданием, разрабатывается вновь вся конструкция изделия.

На этой стадии полностью и тщательно отрабатывается конструкция и конструкторские документы с тем расчетом, как если бы это была последняя и окончательная разработка. Чем тщательнее разрабатывается технический проект, тем легче и скорее проходит сдача остальных этапов проектирования, внедрение и запуск изделия в производство.

На основе вновь разработанных конструкторских документов изготавливаются образцы-макеты. Для сложных и ответственных деталей и узлов конструкции разрабатывается технологическая оснастка (оправки, держатели, прижимы, штампы и пресс-формы).

По конструкторским документам разрабатываются технологические процессы для изготовления ответственных деталей и узлов изделия. При этом учитывается тип производства, в котором будут изготавливаться новые изделия (единичные, серийное, мелкосерийное, массовое производство).

На стадии технического проектирования осмысливаются, продумываются и реализуются вопросы технологичности конструкции, вопросы унификации,

стандартизации входящих конструкций, вопросы надежности, ремонтопригодности и восстанавливаемости нового изделия.

При разработке конструкции нового изделия много внимания уделяется типу будущего производства (конструкции изделия для мелкосерийного и массового производства очень сильно отличаются).

Изготовленные макеты изделия проходят заводские испытания в полном объеме в присутствии представителя заказчика,

В процессе изготовления макетов возникает необходимость в исправлении ошибок конструкторской документации и доработок ее по рекомендациям из цехов.

После корректировки документации технический проект предъявляется госкомиссии на рассмотрение и утверждение. Госкомиссия рассматривает проект, иногда требует демонстрации работающих макетов в условиях, близким к реальным. На основе положительных результатов рассмотрения технического проекта госкомиссия утверждает проект. В ГОСТ 2.120-73 приведен перечень документов, необходимых для защиты технического проекта.

На данной стадии конструкторские документы на изделие изготавливаются все и полностью без исключения.

1.7.6. Разработка рабочей конструкторской документации

5 стадия - разработка рабочей конструкторской документации (РРКД). Шифр - «О» (опытная). ГОСТ 2.102-68.

На основе отработанной документации на предыдущем этапе полностью разрабатывается технология изготовления в опытном производстве всех деталей и

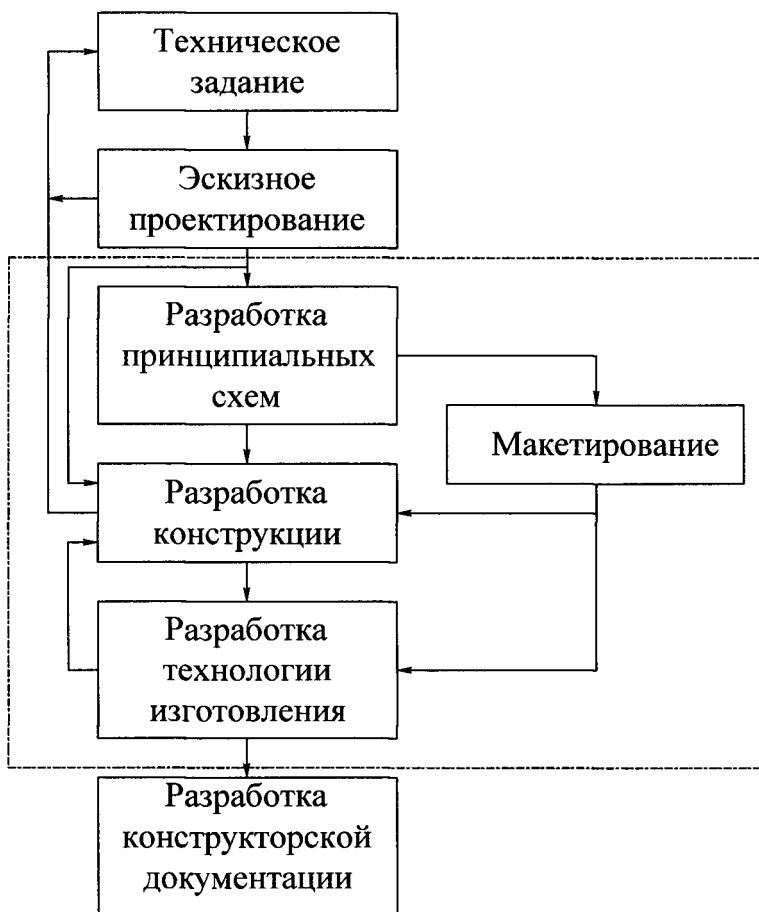


Рис. 10. Содержание этапа технического проектирования и его взаимосвязь с другими этапами проектирования

узлов без исключения.

Разработка проекта проходит этап нормирования труда.

На вновь разработанной технологии и без отступления от нее изготавливаются опытные образцы изделия (3-5 шт.).

По результатам изготовлены определены опытных образцов уточняются технологические процессы и конструкторская документация. Изготовленные опытные образцы проходят заводские испытания. Откорректированной документации после заводских испытаний присваивается шифр «О» - **ОПЫТНАЯ..**

После заводских испытаний опытные образцы подвергают государственным испытаниям, межведомственным или сдаточным. По результатам испытаний и рекомендациям госкомиссии опытные образцы и конструкторская документация дорабатываются вновь, и документации присваивается шифр **«О₁».**

По положительным результатам госиспытаний (на этапе **«О₁»**, **«О₂»**, **«О₃»**) госкомиссия утверждает опытные образцы. В это же время утверждается и завод-изготовитель нового изделия.

Отработанные на опытных образцах конструкторские документы и разработанные вновь технологические документы разработчики передают на завод-изготовитель нового изделия. Одновременно с передачей документации разработчики передают свой опыт в изготовлении и отладке изделия и имеющуюся у них технологическую оснастку.

На заводе-изготовителе на основе полученной документации разрабатывается технология изготовления и технологическая оснастка на все делали и узлы, применительно к предполагаемой серийности и специфике завода, на котором будет изготавливаться изделие. При этом учитывается наличие того или иного оборудования, его расположение в цехах, состояние транспортных путей и складских помещений.

Чтобы облегчить и ускорить освоение нового изделия разработчики командируют на завод группу внедрения, которая состоит из ведущего конструктора и нескольких инженеров - конструктора, **ТЕХНОЛОГА**, экономиста. Они консультируют заводских специалистов и помогают наладить новое производство.

По разработанной вновь *собственной технологии* завод-изготовитель изготавливает установочную серию новых изделий.

По результатам изготовления и испытания установочной серии вносятся корректировки в конструкторскую и технологическую документацию. Заводской документации присваивается шифр **«А».**

Цель установочной серии - проверить заводскую конструкторскую документацию, заводскую технологию, технологическую оснастку.

В тех случаях, когда изделия предназначены для крупносерийного или массового производства, перед запуском производства осуществляется еще один этап - изготавливается головная или контрольная серия.

Цель головной серии - выявить упущения в технологии или в организации производства перед окончательным запуском изделия в производство.

На основе контрольной серии оценивают следующие показатели производства:

выдержка заданного ритма производства;

оценка себестоимости изделия;

оценка качества изделия на потоке.

По результатам изготовления большой контрольной серии окончательно корректируется конструкторская и технологическая документация и ей присваивается шифр «Б»,

После этого разработчики отделяются и отключаются от завода-изготовителя.

В тех случаях, когда крупносерийное и массовое производство не предусматривается, количество и содержание этапов разработки специально оговаривается в техническом задании.

Когда изделие не является принципиально новым, количество этапов резко сокращается.

2. МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЭС

2.1. Методы конструирования РЭС

Многообразие задач создает и многообразие методов конструирования. Метод конструирования определяется многими факторами, к числу которых в первую очередь следует отнести: требования, предъявляемые к конструкции, ее назначение, способ производства, применяемые материалы, серийность и др. Классификация основных методов и принципов конструирования РЭС приведена на рис. 11.



Рис. 11. Классификация методов и принципов конструирования РЭС

В начальном периоде развития РЭС радиопромышленность выпускала только средства радио- и проводной связи. К аппаратуре еще не предъявлялись требования высокой точности и устойчивости параметров, поэтому усилия конструкторов направлялись в первую очередь на обеспечение дальности действия радиосвязи. Это требовало увеличения массо-габаритных характеристик конструкции и потребляемой мощности. В практике конструирования использовался так называемый **машиностроительный метод**. Когда же радиосвязь получила чрезвычайно широкое распространение, перед конструкторами

встала другая задача — сужение полосы частот, занимаемой трактом передачи. Это сразу предъявило новые требования к устойчивости частоты и к точному определению ее абсолютного значения.

Новая задача требовала и новых методов решения. Высокая устойчивость частоты радиостанции непосредственно зависит от устойчивости основных элементов контура. Потребовались новые разработки высокоустойчивых деталей контура, в том числе и **ТОЧНЫХ** элементов установки и отсчета частоты. Для решения этой задачи пришлось воспользоваться опытом конструкторов точных приборов, задачи которых, связанные с обеспечением отсчетных параметров и общей устойчивости конструкций, во многом сходны с задачами конструкторов радиоаппаратуры.

По мере овладения опытом конструирования точных приборов радиоконструкторы стали все увереннее и шире применять и наиболее прогрессивный метод конструирования этих приборов, известный под названием **ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО**. Но этих двух методов при повышении функциональной сложности РЭС и расширению сфер применения оказалось недостаточно. Практика конструирования РЭС выдвинула и свои специфические методы, связанные с разбиением конструкции на отдельные законченные составные части.

Формальное конструирование является процессом по разработке информационных документов (чертежей, таблиц, ведомостей, спецификаций и т. д.), сообщающих производству сведения о форме и материале элементов конструкции, о их взаимном размещении, ориентации и соединении между собой.

По существу главным в процессе конструирования любых вещей и предметов является поиск основных связей в конструкции, через которые и выявляются ее свойства. Поэтому методами конструирования является не что иное, как способы образования основных внутренних связей (путем расположения, ориентации и соединения) между элементами, частями конструкции.

Несмотря на то, что методов конструирования может быть много, однако все они независимо от того, для конструирования каких вещей предназначены, отвечают на два основных вопроса:

- а) о геометрии размещения и ориентации элементов в конструктивном пространстве;
- б) о физической сущности связи и способе ее осуществления (поле, световой поток, поток электронов, непосредственные механические и электрические контакты и т. д.).

То, что главными в конструировании любых вещей являются именно эти вопросы, иллюстрируют следующие примеры.

При конструировании элементов радиоаппаратуры (конденсаторов, катушек индуктивности, электронных ламп, полупроводниковых приборов, ИМС и др.) конструктору приходится иметь дело с геометрией конструкции, т. е. размещением и ориентацией элементов в отведенном пространстве (витков катушки, электродов **конденсатора** и электродов ламп и полупроводниковых приборов) при учете их взаимодействия с полем. В данном случае физическим носителем связи явилось поле. В конструкциях устройств, состоящих из конденсаторов, резисторов и других элементов, обычно носителем связи является электрический ток. В этом случае размещение и ориентация элементов обеспечивает наиболее удобную трассировку каналов связи — проводов, соединяющихся с элементами путем электрического контакта.

В конструкциях оптических приборов физическим носителем связи является световой поток. Сущность конструирования сводится к размещению и ориентации оптических элементов с учетом преобразования, проходящего через них или отраженного от них светового потока. Очевидно, здесь рассматривается вопрос взаимодействия потока света с поверхностью элемента, от которой он отражается, или в котором он преломляется.

В конструкциях точных приборов, машинах, механизмах и других устройствах с механическими связями, элементы конструкций соединяются непосредственно друг с другом через механические контакты, чем и осуществляются физически их связи. Носителями связей здесь являются силы. Размещение и ориентация элементов этих устройств в пространстве обеспечивает заданную закономерность их взаимодействия.

Таким образом, представление о методах конструирования, как о способах осуществления связей между элементами конструкций позволяет, с одной стороны, обобщить конструкторскую работу различных отраслей техники, а с другой стороны, оно допускает определенное сужение знаний конструктора. Следует отметить, что эти два основных вопроса появляются не только на уровне конструирования изделий из готовых элементов, но и на уровне разработки (фактически то же конструирования) материалов, где исходным является вещество, атомы, а путем использования тех или иных видов атомных связей строится геометрия молекулы разрабатываемого вещества. По-видимому, началом геометрии является пространство, а физических связей — взаимодействие материального мира.

В современных условиях существует относительно четкая граница между отраслями техники, производящими материалы и производящими из материалов готовые изделия. С последней отраслью и связана работа конструкторов. Наоборот, в первой работают физики и химики. Однако в современной микроэлектронике намечается тенденция на ослабление этого четкого разграничения деятельности конструктора, физика или химика. Это положение касается разработчиков-конструкторов интегральных микросхем и СВЧ-модулей. В них, вследствие специфики интегральной технологии, в одном технологическом цикле образуются из исходных веществ и необходимые материалы, и сами элементы, т. е. имеет место как бы синтез и материалов, и элементов одновременно.

Однако это скорее формальное объединение синтезов, так как воспроизводству материалов исходных веществ предшествуют большие исследовательские работы, обычно завершаемые рецептурой и технологией.

Формально такой подход в производстве имел место и до интегральной технологии, например в процессе электрохимического нанесения пленочных металлических покрытий из химических растворов солей, где материал конструкции синтезировался (образовывался) прямо в процессе производства самого изделия. При этом конструктор не занимался разработкой самого электрического процесса, и тем более полученного этим методом материала — он был разработан химиками и физиками. Конструктор пользовался готовым способом производства материала и его присоединения к конструкции и лишь изучал возможности его применения для своих целей. Современная интегральная технология уже исключила из производства отдельные функционально законченные детали-элементы. В процессе дальнейшего развития РЭС они, как отдельные элементы, будут терять свои позиции. Однако в силу некоторых причин ожидать их окончательного исчезновения в ближайшем будущем не следует.

2.1.1. Геометрический метод

Геометрический метод конструирования явился следствием обобщения опыта конструирования точных приборов, предназначенных для решения тех или иных точных задач путем использования кинематических систем, по существу не вырабатывающих и не потребляющих для этой цели энергии. Он позволяет также разработать систему механических связей между разборными, но полностью взаимно неподвижными элементами, воспроизводящую точное их положение и устраняющую температурные напряжения в конструкции.

Такой метод конструирования применим для жестких конструкций, в которых деформация под влиянием внешних или внутренних сил много меньше погрешности изготовления деталей; он устанавливает зависимость между характером взаимодействия двух элементов и необходимым числом совместных точек прикосновения.

Принцип геометрического метода исходит из основных положений геометрии. Любая точка, расположенная в пространстве, обладает тремя степенями свободы, так как положение ее в пространстве определяется тремя координатами, например в прямолинейной прямоугольной системе.

Если лишить точку одной степени свободы, т. е. ограничить ее движение вдоль одной из координатных осей, то точка сможет перемещаться только в пределах плоскости. Такая возможность перемещения точки определяется наличием у нее лишь двух степеней свободы. Если перемещение точки ограничить двумя перпендикулярными плоскостями, то движение ее будет возможно только по прямой линии, являющейся местом пересечения этих плоскостей. Точка будет иметь лишь одну степень свободы. Наконец, если установить еще одну плоскость, перпендикулярную двум установленным, то перемещение точки, очевидно, будет уже невозможно. Точка будет лишена всех степеней свободы и совершенно однозначно ориентирована в данной системе координат.

Для определения положения твердого тела недостаточно знать три координаты какой-либо его точки, так как, кроме способности перемещаться вдоль координатных осей, тело еще может вращаться вокруг этих осей; следовательно, для точной ориентации тела в системе координат необходимо, кроме трех координат одной из его точек, задать еще три угловые координаты для другой точки, не имеющей с первой ни одной общей координаты. Таким образом, незакрепленное тело, находящееся в пространстве, обладает не тремя, а шестью степенями свободы, из них три степени свободы поступательного движения вдоль координатных осей и три — вращательного движения вокруг тех же осей.

Одна точка касания тела с какой-либо плоскостью способна ограничить перемещение тела в одном направлении, перпендикулярном данной плоскости. Две точки касания тела с плоскостью способны ограничить поступательное движение тела перпендикулярно плоскости и вращательное движение тела вокруг оси, параллельной плоскости и перпендикулярной линии, соединяющей точки касания. Две точки касания тела с двумя взаимно перпендикулярными плоскостями способны ограничить поступательное перемещение тела вдоль двух координатных осей.

Следовательно, одна точка касания тела с поверхностью другого тела способна ограничить одну степень свободы. Две точки касания тела с другим телом способны ограничить две степени свободы. Распространяя это положение дальше, нетрудно прийти к заключению, что для обеспечения полной неизменности положения одного тела относительно другого необходимо и достаточно шести совместных точек касания, исключающих все шесть степеней свободы.

На основании приведенных выкладок можно сделать два существенных вывода:

- а) расположение точек не может быть случайно, а должно быть подчинено определенным правилам;
- б) число степеней свободы, которое имеет тело, и число точек касания в сумме всегда должно быть равно шести.

На этих принципах, действительных для идеального твердого тела, базируются основные положения геометрического метода конструирования. При этом считается, что расположение точек касания не должно нарушать геометрической определенности:

- а) линии, определяемой двумя точками;
- б) плоскости, определяемой тремя точками;
- в) поверхности (несферической), определяемой четырьмя точками.

Применение геометрического метода к конструированию элементов РЭС приводит к следующим основным положениям.

1. Все возможные перемещения одного тела относительно другого, которые могут встретиться в двух конструктивно связанных телах, полностью определяются числом и местом расположения точек совместного прикосновения. Но так как число совместных точек прикосновения не может быть более шести и менее одной, то одно тело относительно другого может иметь до пяти степеней свободы, в том числе до трех поступательных и до трех вращательных. Следовательно, все перемещения одного тела относительно другого ограничиваются числом возможных комбинаций, составленных из трех поступательных и трех вращательных перемещений, ориентированных в перпендикулярных по отношению друг к другу направлениях.

2. Расположение точек прикосновения тел (точек опоры) должно быть выбрано так, чтобы каждая точка безусловно ограничивала движение тела; если убрать эту точку опоры, то тело получит свободу перемещения в направлении, которое ограничивалось этой точкой. Очевидно, что на одной прямой нельзя устанавливать более двух точек соприкосновения, так как третья точка на прямой не изменит положения тела и не ограничит ее возможного перемещения. То же

можно сказать о плоскости (или параллельных плоскостях), на которой нельзя установить четырех точек, так как три точки, не лежащие на одной прямой, вполне определяют положение тела относительно плоскости. Это же касается поверхностей вращения (кроме сферической), положение которых вполне определяется четырьмя точками (для сферической достаточно трех).

3. Для лучшего ограничения возможного перемещения тела точки соприкосновения следует располагать таким образом, чтобы плоскость, касательная к любой точке, была по возможности перпендикулярна вероятному перемещению тела, лишенному этой точки опоры. Расстояние указанной точки до оси вращения, угловое перемещение тела вокруг которой данная точка ограничивает, должно быть наибольшим.

4. Для того чтобы сохранить при помощи совместных точек касания (опор) заданное положение одного тела относительно другого, необходимо иметь постоянно действующие силы, направленные перпендикулярно плоскости, касательной к точкам соприкосновения, и создающие сжимающие напряжения в этих точках. Такие силы носят название замыкающих и являются или силой тяжести тела, соответствующим образом ориентированной относительно точек касания, или силой действия специальных пружин, предусмотренных в конструкции. Величину замыкающей силы выбирают из соображений обеспечения устойчивости контакта в точках касания при возможных внешних механических воздействиях (вибрация, тряска, удар, постоянное ускорение), направленных против замыкающих сил.

Таким образом, в основу геометрического метода конструирования положена структура механических связей между элементами, представляющая собой систему опорных точек, число и размещение которых зависит от заданных степеней свободы и геометрических законов твердого тела (точки, линии, плоскости, поверхности). Физическая связанность обеспечивается постоянными силами, замыкающими эти элементы в опорных точках. Применение метода сводится к поиску геометрии размещения опорных точек и к учету в них механических подвижных или неподвижных контактов.

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

Так как в данном методе число опорных точек не зависит от действующих в системах сил и даже при неподвижном соединении двух тел не может быть более шести, то такие конструкции малопригодны для больших нагрузок и в основном предназначаются для обеспечения перемещений, а не для передачи сил.

Следовательно, прямое назначение геометрического метода конструирования сводится к созданию конструкций, обеспечивающих перемещения, т. е. обладающих кинематическими свойствами, в которых сила является лишь причиной перемещения, а не источником передаваемой энергии. Поэтому данный метод часто называют *кинематическим методом конструирования*.

В тех случаях, когда можно и нужно избежать внутренних напряжений от взаимного закрепления, неподвижное закрепление одного тела относительно другого следует производить, также придерживаясь основных положений геометрического метода.

Наконец, геометрический метод является единственным средством решения задач во всех тех случаях, когда от конструкции требуется высокая степень точности взаимного перемещения деталей или длительное и точное сохранение каких-либо параметров, зависящих от расположения элементов. Одной из основных черт этого метода, отличающего его от других, является то, что при нем характер взаимосвязи двух деталей почти не зависит от погрешности их изготовления.

Эти свойства, которыми обладают конструкции, созданные по геометрическому методу, весьма важны в массовом производстве, построенном на взаимозаменяемых деталях, не допускающих посадочных индивидуальных пригонок.

В нашей радиопромышленности геометрический метод применяется еще недостаточно широко. Это безусловно отражается на качестве конструкций и особенно на таких параметрах, как устойчивость, взаимозаменяемость, массовость применения и точность обеспечения заданного параметра.

2.1.2. Машиностроительный метод конструирования

Машиностроительный метод не отрицает геометрического метода конструирования, наоборот, он использует его основные положения, и в то же время он его приспособливает и несколько видоизменяет для конструирования механизмов, которые несут большие механические нагрузки и в которых неизбежны, вследствие этого, большие деформации. С целью уменьшения веса и, следовательно, экономии материала в элементах конструкции допускают значительно большие напряжения, а с целью повышения КПД всеми средствами уменьшают трение в подвижных частях.

Решая задачу уменьшения деформации в конструкциях машин, машиностроительный метод вводит в них лишние, с точки зрения геометрического метода, опорные точки: более двух на одной прямой, более трех на плоскости и

более четырех на цилиндрической поверхности. При этом отвергаются точечные опоры, принятые в точных приборах: под воздействием весьма больших сил, характерных для изделий машиностроения, эти опоры оказываются нецелесообразными, так как могут перегружаться, поэтому их заменяют опорными поверхностями.

При передаче больших мощностей неизбежны высокие скорости перемещения частей механизмов. Использование замыкающих сил привело бы к большим потерям энергии и быстрому износу опор. Вследствие этого замыкание силами, являющееся необходимой мерой в точном приборостроении, заменяют в машиностроении замыканием формой.

Характерные черты машиностроительного метода конструирования сводятся к следующему:

а) вместо опорных точек применяются опорные поверхности;

б) число опорных поверхностей может быть больше, нежели это требуется геометрическим методом для обеспечения заданного движения или положения тела;

в) допускается расположение опорных поверхностей под любыми углами к возможному перемещению, при этом используется работа опоры не только на сжатие, но и на сдвиг и растяжение; могут быть использованы также силы трения, препятствующие перемещению в любом направлении;

г) замыкание силами заменяется замыканием формой поверхности, что неизбежно вызывает в подвижных соединениях зазоры, а в неподвижных — большие напряжения;

д) точность движения и взаимное расположение деталей обеспечиваются высокой степенью точности их изготовления.

Машиностроительный метод не отрицает геометрической определенности соединения деталей. Более того, современная теория механизмов базируется на основном принципе числа степеней свободы твердого тела, и классификация кинематических пар изучается именно с точки зрения возможных относительных движений звеньев, входящих своими элементами в пару.

Принципы машиностроительного метода чрезвычайно широко применяются в радиотехнических конструкциях. Так, в качестве неподвижных соединений используются всем известные болты, винты, заклепки, скобки и т. д., заменяющие собою упругие замыкающие силы и вызывающие силы трения, препятствующие взаимному перемещению тел. При этом в деталях возникают большие механические напряжения, часто не оправданные с точки зрения действующих

сил. Однако требования к механической прочности, простота и дешевизна этих способов закрепления во многих случаях заставляют мириться с ними.

В чистом виде геометрический метод не может быть использован, и некоторые черты машиностроительного метода делают его более практическим. Точки опор, например, практически все же оказываются небольшими поверхностями, а плоскости не всегда располагаются строго перпендикулярно возможному направлению перемещения тела. Эти поправки, вводимые в оба метода, несколько сближают и совершенствуют их, делая более удобным их применение для конструирования элементов радиоаппаратуры.

Конструкции подвижных соединений в современной аппаратуре в большинстве случаев выполнены в соответствии с машиностроительным методом. В направляющих для вращательного и поступательного движения нет замыкающих сил, а используется замыкание формой (цилиндрические подшипники, шарикоподшипники, цилиндрические направляющие для поступательного движения и т. д.).

Сравнивая оба метода конструирования, нельзя прийти к выводу о пригодности одного и непригодности другого, ибо каждый из них находит свое применение и каждый имеет в своей области совершенно неоспоримые преимущества перед любым другим методом; поэтому важно разобраться в достоинствах и недостатках этих методов с тем, чтобы правильно применять их при конструировании элементов РЭС.

2.1.3. Топологический метод

Целый ряд задач, с которыми приходится сталкиваться конструктору радио и электронных изделий, не может быть решен только методами, изложенными выше. Например, при конструировании монтажных схем, состоящих из проводов, соединяющих между собой отдельные элементы принципиальной схемы, при разработке рисунка печатных проводников на печатной плате или при разработке структуры микросхем, связанной с поиском формы элементов микросхем и с их размещением, и даже при поиске формы обычных микроэлементов РЭС конструктор руководствуется методом, заставляющим его преобразовать форму конструкции, приспособливая ее к поставленным целям.

При любом формировании формы конструкции или монтажных соединений конструктор обязан это делать так, чтобы не нарушить основных внутренних связей структуры, определяющих ее функциональное назначение. Можно говорить в этом случае о множестве различных преобразований, однако не бес-

конечном, а замкнутом в определенные границы, за пределами которых наступает нарушение функциональных свойств. Когда это множество различных преобразований ограничено определенным числом комбинаций (если элементы структуры дискретны и число их конечно), то, пользуясь простым перебором, в принципе, имеется возможность найти требуемый оптимум по поставленным целям. Однако, когда речь идет о преобразованиях геометрической формы, по существу не имеющей прямовыраженной дискретной структуры, то число комбинаций делается неограниченным, и простой их перебор не дает результата.

Появление ИМС малой степени интеграции привело к появлению очень сложных устройств, состоящих из сотен, тысяч элементов, соединенных между собой. Решение задачи разработки конструкции подобных РЭС очень трудоемко. Сложность заключается в том, что указанные задачи, имея большое количество вариантов решения, не имеют ни одного, который бы был легко найден конструктором. Поэтому, как правило, конструктору приходится много раз переделывать свою работу, не будучи уверенными в том, что его следующий шаг даст оптимальный вариант.

Усилия конструкторов и математиков, направленные на рассмотрение сдавшейся проблемы в конструировании сложных схем, привели, с одной стороны, к созданию алгоритмов для решения таких задач на ЭВМ, с другой стороны, к попытке создать некоторые теоретические положения, облегчающие эти решения. В том и другом случае использовались некоторые основные идеи из топологии и, в частности, из теории графов. Отсюда появился термин «топология схем», содержащий в себе представление о конструктивном виде схем и ее геометрической (топологической) связности, независимо от ее функционального содержания. Как следствие этого, можно говорить и о *топологическом методе конструирования*, хотя такой метод представляется весьма общим. Он проникает в любые виды связей конструкции, однако, конкретное его содержание проявляется там, где связности элементов может быть сопоставлен график. В данном контексте под графиком следует понимать графическое выражение структуры связей между элементами любой системы. Легко сопоставить график с конструкциями, имеющими линии связи между элементами. Например, конструкции РЭС, состоящие из ряда электрических элементов, имеют связи между элементами в виде проводников. Или конструкции пневматических и гидравлических устройств, содержащие элементы и соединяющие их между собой трубы. В таких и аналогичных им случаях можно сопоставить, например, вершинам графа — элементы, а его ребрам — линии связи, провода, пневмо- и гидроканалы.

Значительно труднее сопоставить с графом конструкцию с механическими связями или со связями через магнитные, электрические и другие поля. Это обстоятельство пока не позволяет непосредственно использовать топологический метод конструирования более широко. В то же время хорошо разработанная теория надежности, особенно вопросы резервирования, не может быть реализована там, где структура не сопоставляется графу.

Одной из основных особенностей конструкций РЭС является то, что монтажный провод или печатный проводник платы не является необходимым элементом конструкции, и замена его непосредственным соединением элементов между собой всегда предпочтительнее. Следовательно, изучение такого вида связей будет всегда направлено на их сокращение или даже уничтожение, если это принципиально возможно. Поэтому в электронике конструирование таких узлов, как известно, привело к определенной интеграции, объединению элементов между собой, приданнию им большей функциональной емкости. Является ли такое сокращение соединительных проводников просто экономией затрачиваемых материалов? На этот вопрос нельзя ответить утвердительно, так как цель более глубокая. Можно отметить, по крайней мере, два обстоятельства:

- а) непосредственное соединение элементов между собой сокращает число контактов, которые всегда являются источником дополнительной трудоемкости и потенциальных отказов;
- б) сокращение длины **ПРОВОДНИКОВ** уменьшает паразитные связи между ними, реактивные параметры устройства, затухание сигналов в проводниках.

Рассматриваемый метод имеет несколько особенностей.

Первой особенностью является сопоставление связности элементов конструкции графу. Если элементы схемы соединяются между собой изолированными монтажными проводами, то такой граф вполне соответствует схеме. Если элементы соединяются с помощью печатных проводников, где их взаимное расположение очень важно, то соответствие графа схеме будет не полное. Для установления этого соответствия можно каждую вершину представить также в виде графа, вершинами которого будут являться контакты элементов, а ребрами - отрезки печатного проводника, устанавливающие порядок соединения этих контактов.

Второй особенностью является изоморфизм графа, т. е. свойство эквивалентности строения независимо от различия в геометрическом образе. Это свойство позволяет получить множество преобразований графа, среди которых конструктору удается найти наиболее удачное и очень часто совершенно не-

похожее на свой прототип. При этом все варианты конструкции, с точки зрения структуры, являются одинаковыми.

Третий чертой метода является использование свойств графов для построения электрических соединений, оптимально удовлетворяющих поставленным требованиям. Как правило, схемы современных РЭС нельзя представить плоским графом. Поэтому возникает необходимость решать вопросы связанные с пересечением соединительных цепей, что наиболее характерно для печатных и коммутационных плат. Метод позволяет решать задачи возможного сокращения количества проводников, их длины, числа паяных соединений, выводов на разъемы с учетом обеспечения параметров в соответствии с заданными свойствами конструкции.

Таким образом, топологический метод конструирования, направленный на решение задач, связанных с построением электрических соединений или интегральных схем, отвечает так же на два основных вопроса, характеризующих любые методы конструирования, а именно:

- 1) о способе размещения элементов и их ориентации в конструктивном пространстве;
- 2) о способе трассировки линий связи и физических средствах их соединения с объектами.

Этим еще раз подчеркивается общность задач в различных методах конструирования, независимо от их формы проявления.

2.1.4. Метод моноконструкций

Рассматриваемый метод основан на минимизации числа связей в конструкции. Он применяется для создания функциональных узлов, блоков и в целом РЭС на основе оригинальной несущей конструкции, в виде моноузла (моноблока) с оригинальными элементами. До широкого внедрения САПР разработка моноконструкций РЭС была связана с многочисленными трудностями и недостатками, а именно:

значительное время конструирования и внедрения в серийное производство;

ограниченные возможности типизации и унификации;

недостаточно высокая надежность;

низкая степень ремонтопригодности;

сложность внесения изменений в электрическую схему без переделки конструкции;

значительная стоимость разработки и изготовления.

В настоящее время большинство из этих проблем решено. Этому способствовало следующее.

Первое. Высочайшая степень автоматизации проектирования и изготовления РЭС, что позволяет в кратчайшее время внести изменения в принципиальную схему и, как следствие, печатную плату.

Второе. Применение в составе РЭС специализированных и заказных СБИС, зачастую являющихся основой построения центрального функционального узла изделия, на порядки изменяющих массо-габаритные характеристики, общее количество элементов и связей между ними. В результате разбиение схемы на отдельные модули становится нецелесообразным. Так, например, схема цветного телевизора или монитора (без учета блоков расширения функциональных возможностей) конструктивно располагается на двух печатных платах, одна из которых с минимальным набором элементов располагается непосредственно на горловине кинескопа. Остальные элементы располагаются на плате, которую справедливо назвать моноблоком. Для сравнения: в отечественных моделях цветных телевизоров третьего-четвертого поколений имелось до десяти отдельных печатных плат. В конструкциях сотовых телефонов, не имеющих подвижных частей, также используется одна печатная плата.

Третье. Разработка и использование избыточных печатных плат. Различие в РЭС одного модельного ряда обусловлено набором дополнительных функциональных и сервисных возможностей. Введение их в изделие осуществляется путем подключения соответствующего функционального узла. Как правило, такие узлы реализуются на специализированных ИМС, полностью согласованных с основным трактом преобразования сигнала по всем параметрам. Поэтому при разработке модельного ряда печатная плата моноблока сразу же формируется под наиболее сложную модель. При производстве более дешевых моделей некоторые ИМС и другие вспомогательные элементы не устанавливаются. Так модельный ряд двухкассетных дек фирмы «Technics», являющейся одной из ведущих в области бытовой радиоэлектроники, содержал следующие модели: RS-TR373, RS-TR474, RS-TR575, RS-TR979. По мере возрастания номера возрастают функциональные возможности: к системе шумоподавления Dolby B/C добавляется Dolby HX Pro, система ATC (автоматическая калибровка ленты) по подмагничиванию, постоянной времени и уровню записи, точная ручная подстройка подмагничивания, возможность «записи/воспроизведения» на обеих деках. При этом печатные платы всех моделей одинаковы.

Перечисленные факторы делают метод моноконструкций весьма перспективным для производства большого количества различных РЭС.

2.1.5. Функционально-узловой метод конструирования

Внедрение в производство печатного монтажа, автоматизация установки деталей на печатных платах, переход к планарному (поверхностному) монтажу, применение групповых методов пайки позволяют автоматизировать некоторые трудные операции производства модулей РЭС. Однако действительно широкое внедрение механизации и автоматизации производство РЭС невозможно без предварительной широкой унификации отдельных модулей и деталей, а также наиболее целесообразного конструктивного их оформления.

Конструкция РЭМ должна быть простой - чем проще узел, тем проще автоматизировать его производство и тем выше качество узла. Унификации должны подвергаться не только механические узлы и несущие конструкции, но и отдельные радиоэлектронные модули. Наиболее простым и реальным способом организации высокомеханизированного производства РЭС при одновременном повышении их функциональной насыщенности и надежности является разделение сложных блоков на простейшие части и их дальнейшая тщательная отработка. Такой метод конструирования РЭС называется **функционально-узловым методом**.

Как бы ни сложна была схема, ее всегда можно разбить на элементарные функциональные узлы, выполняющие простейшие задачи. Анализ конструкций большого числа РЭС показал, что функциональные узлы объединяют в своем составе 70...80 % общего количества элементов изделия. Остальные 20...30 % приходятся на различного рода элементы управления и контроля и элементы, устанавливаемые непосредственно на шасси изделия.

Применение функционально-узлового метода конструирования основано на создании элементарных модулей, которые могут являться первичными элементами большого числа электронных схем. Этот метод позволяет принципиально изменить подход к разработке и производству РЭС. Появляется ряд преимуществ, среди которых необходимо выделить **следующие**:

упрощается проектирование и разработка новых изделий подобного класса;

существенно снижаются эксплуатационные затраты;

удешевляется и снижается время организации выпуска РЭС.

Наличие законченных РЭМ с известными входными и выходными параметрами значительно уменьшает время, необходимое для сборки и проверки макета проектируемого устройства, а также упрощает сам процесс макетирования. Макет, выполненный из тех же модулей, что и опытный образец, очень близок к будущему опытному образцу и потому весь опыт подготовки макета в лаборатории может быть использован на производстве. В зависимости от характера и сложности разрабатываемой аппаратуры, как показывает опыт, время лабораторной разработки блоков аналоговых РЭС сокращается в 1,5—3 раза, а цифровой РЭС — в 3...5 раз.

В широком смысле слова термин **функционально-модульный (модульный) метод** надо понимать как совокупность принципов проектирования и конструирования, в основе которых заложено одно общее требование: так расчленить электрическую схему устройства на модули (функциональные узлы, ячейки или блоки), чтобы они были как функционально, так и конструктивно законченными, и чтобы при этом их конструктивные размеры либо повторяли друг друга, либо были кратны одним базовым размерам, т. е. были унифицированными.

В размерном отношении модульная компоновка получается путем разделения объема взаимно параллельными и перпендикулярными плоскостями. Расстояние между смежными плоскостями в каждом из трех измерений для устройства в целом и для отдельных его частей принимается равным или кратным размеру основного модуля М (рис.12). Модульная компоновка позволяет «сворачивать» и «вытягивать», «разрезать» и «разносить» в пространстве электрические схемы отдельных модулей в самых разнообразных вариантах и пропорциях. Общий признак модульной компоновки — прямоугольность объема и его частей — упрощает стандартизацию модулей, позволяет установить закономерные соотношения и типовые сопряжения между целыми и отдельными его частями. Таким образом, модульный метод компоновки можно считать одним из общих принципов конструирования РЭС.

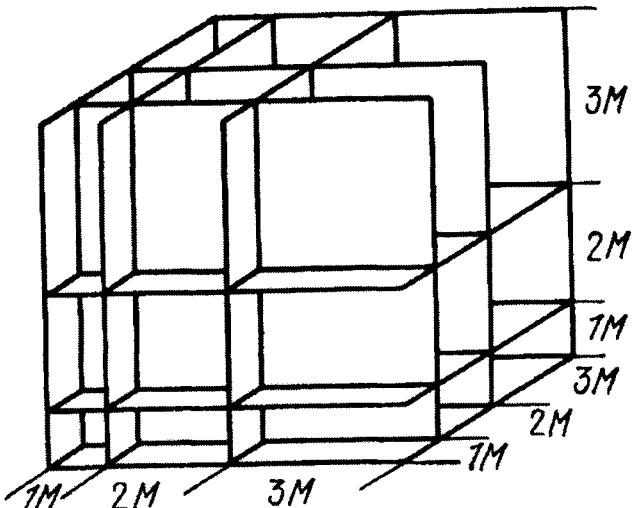


Рис. 12. Разделение объема плоскостями с размерным модулем М

2.2. Характеристика частных принципов компоновки

К частным принципам компоновки следует отнести *принципы пространственной (объемной) и поверхностной (планарной) компоновки* устройств и их частей.

Первый принцип был реализован в так называемом блочном методе компоновки устройств, характерном для РЭС первого поколения. Основные его черты, достоинства и недостатки достаточно известны. Главное, что при этом полностью отсутствовала возможность автоматизации конструирования и унификации изделий.

Второй принцип, реализуемый в функционально-узловом методе компоновки, характерен для конструкций РЭС второго и последующих поколений. Основная его особенность состоит в том, что практически все элементы конструкций оказалось возможным размещать на одной плоскости при соизмеримых высотах комплектующих изделий. При этом стало легче обеспечивать требования унификации и стандартизации модулей и автоматизировать процессы проектирования, конструирования и изготовления устройств.

Однако в аппаратуре второго поколения большое число элементов самой разнообразной формы препятствовало автоматизации компоновочных работ. Криволинейная форма большинства элементов плохо согласовывалась с прямоугольной формой поверхности монтажной плоскости модуля. Разнообразие форм элементов не позволяло эффективно использовать поверхность монтажной плоскости модуля. Существенным недостатком компоновки модулей аппаратуры второго поколения являлось отсутствие регламентации ориентирования элементов на поверхности монтажной плоскости модуля. Введению такой регламентации препятствовало разнообразие форм элементов модуля.

С появлением аппаратуры третьего поколения при разработке корпусов микросхем в основном отказались от использования элементов цилиндрической формы, приняв за основу прямоугольную форму, проекции всех элементов модуля стали прямоугольными, что способствовало улучшению компоновки ячеек. Существенным шагом в этом направлении явилось введение координатной сетки, привязанной к сторонам печатной платы. Формулировка требования установки одного из выводов элементов в точке пересечения координатной сетки явилась первым шагом на пути автоматизации компоновки РЭС.

Спецификой компоновки ячеек с применением микросхем явилось разделение печатной платы модуля на соответствующие конструктивные зоны. При

этом компоновка элементов ячейки (за исключением разъема) регламентировалась только монтажной зоной. Технологическая зона, состоящая из четырех краевых полей вокруг монтажной зоны, предназначается для крепления печатной платы в технологической оснастке при сборке, монтаже и контроле ячейки, а также для крепления несущей конструкции (рамки), если предусматривается, установка разъема с выводами (и при необходимости - планки с контрольными гнездами).

Если для модулей аппаратуры второго поколения характерно достаточно произвольное расположение элементов, то спецификой ячеек с применением микросхем явилось выделение участка монтажной зоны, где преимущественно концентрировались микросхемы. При этом привязка выводов корпусов микросхем к точкам пересечения координатной сетки печатной платы привела к упорядочению расположения микросхем в виде горизонтальных рядов и вертикальных столбцов. Это позволило в некоторых случаях характеризовать печатную плату максимальным числом рядов и столбцов микросхем определенной серии, которые могут быть скомпонованы на этой печатной плате.

Однако даже при самой высокой степени регулярности структуры компонуемой части РЭС оно не может быть реализовано только на микросхемах. Требование помехозащищенности ячейки приводит к необходимости введения в нее, наряду с микросхемами, фильтра цепей питания. Этот фильтр, как правило, состоит из резисторов и конденсаторов. Поскольку цепи питания обычно выводятся на крайние выводы разъема через крайние концевые контакты, элементы фильтра устанавливаются на месте крайних микросхем, расположенных на пересечении крайних столбцов с рядом ближайшим к концевым контактам.

Применение навесных ЭРЭ в сочетании с микросхемами не дает возможность полностью реализовать все преимущества последних. Особенно резко этот недостаток стал проявляться по мере роста степени интеграции микросхем. Для борьбы с этим недостатком было предложено упаковывать навесные ЭРЭ в микросборки, корпуса которых конструктивно и технологически согласуются с корпусами используемых микросхем высокой интеграции. В аппаратуре четвертого поколения при компоновке ячеек уже однозначно используется разделение монтажной зоны на отдельные участки для компоновки микросхем и микросборок. Дальнейшее развитие аппаратуры четвертого поколения привело к появлению конструкций ячеек и блоков с общей герметизацией, в которых используются бескорпусные МСБ в сочетании с бескорпусными микросхемами и компонентами. Здесь также наблюдается деление несущей конструкции основания на участки, на каждом из которых скомпонованы МСБ на

подложках одного типономинала.

Конструкция с общей герметизацией характеризуется известной гибкостью компоновочных решений. Наряду с компоновкой бескорпусных ИС и компонентов на коммутационной пленочной плате допускается установка миниатюрных корпусированных ЭРЭ непосредственно на плату.

Разделение монтажного пространства на зоны характерно не только для ячеек на микросхемах и МСБ, но также и для более высоких уровней компоновки аппаратуры, таких, как блок, прибор и шкаф. Центральную часть конструкции составляет зона ячеек, в которой располагается пакет ячеек, выдвигаемый в сторону при контроле и профилактике. С другой стороны блока предусмотрена зона коммутации ячеек, где сосредоточены розетки разъемов. Эти розетки либо впаиваются в объединительную печатную плату, либо устанавливаются на специальную раму и соединяются жгутами проводов. В задней части блока (иногда в передней) предусмотрена зона коммутации выходных разъемов.

Таким образом, основным принципом компоновки РЭС является модульность, которая в свою очередь базируется на принципах объемной и планарной **КОМПОНОВКИ**.

3. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВНИИ РЭС

Система в технике означает сложную совокупность объектов, связей процессов, требований и ограничений, предназначенных для реализации заданных функций.

Системный подход к проектированию предполагает установление связей между объектами и явлениями сверху вниз (иерархический принцип) и на каждом уровне (горизонтальный принцип).

Как правило, любые задачи, решаемые на основе системного подхода, осуществляются в два этапа - анализ и синтез.

Системные задачи анализа:

учет всех этапов жизненного цикла изделия - производства, эксплуатации, утилизации;

учет истории и перспектив развития изделия и соответствующей области техники: старые решения в новых условиях и для новых функций могут возродиться, неконкурентные решения в будущем могут стать более сильными;

учет взаимодействий и связей внутри изделия, между его частями - функциональных, конструктивных, динамических, информационных, тепловых, электромагнитных, механических и т. п.;

вскрытие основных технических противоречий, препятствующих созданию изделия;

всестороннее рассмотрение взаимодействия изделия с внешней средой:

с природой и обществом в целом;

с другими объектами и системами;

влияние среды на изделие.

Все характеристики ОП можно условно разделить на показатели качества, ограничения и условия.

Показатель качества - это числовая характеристика, которая связана с качеством изделия строго монотонной зависимостью при прочих равных условиях. Набор ПК определяет потребительские свойства изделия. Выбор состава и числа ПК - важнейшая задача при формулировке ТЗ. При большом количестве ПК изделие описывается более детально, возможно появление структур с таким их сочетанием, которые между собой несравнимы. При этом возможны следующие варианты:

выбор одного ПК и перевод других в разряд ограничений;

выбор двух ПК и перевод других в разряд ограничений;

ранжирование ПК - расстановка их по критериям;
использование обобщенного ПК на основе свертки нескольких, так называемой целевой функции;
разработка нескольких ОП с различными ПК.

Ограничения - предельные значения для некоторых ПК.

Могут быть нежесткими, как правило, ограничения для класса систем (одноканальная, стационарная и т. п.); жесткими - ограничения по схеме и конструкции (элементная база, масса, габариты, форма, надежность, ремонтопригодность, теплообмен, технологичность, стоимость).

Виды ограничений:

типа равенств $O_i = O_{i0}$.

Пример: габаритные размеры автомобильной магнитолы жестко ограничены и составляют $185 \times 55 \times 150$ мм;

типа неравенств $O_i < O_{i0}$ или $O_{imin} < O_{i0} < O_{imax}$

Пример: напряжение питания современных телевизоров $90 \dots 240$ В;
типа дискретности $O_i = 1, 2, 3 \dots$

Пример: количество предварительно настроенных каналов телевизора 8, 30, 99 и т. д.;
типа связи $(O_i \dots O_n) = 0(1)$.

Пример: телевизор принимает сигналы, кодированные по системе SECAM или PAL (1), но не декодирует сигналы NTSC (0).

Условия - совокупность внутренних и внешних факторов, действующих на объект в процессе всего жизненного цикла. Они не являются параметрами изделия, но влияют на него.

Технические требования к конструкции - это совокупность показателей качества, условий и ограничений, которая обеспечивает:

разработку изделия в соответствии с нормативно-технической документацией;

приспособленность конструкции к условиям производства и эксплуатации;
совместимость с объектом и человеком-оператором;

удовлетворение потребностей в соответствии с назначением изделия.

Все требования объединяются в несколько групп, которые будут подробнее рассмотрены в разделе 6.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ РЭС

Спектр применения РЭС в настоящее время чрезвычайно широк, поэтому можно выделить несколько наиболее значимых классообразующих признаков, позволяющих получить большой объем информации при определении показателей качества проектируемого изделия. К таким признакам относится следующее:

- классификация по среде обитания;
- функциональное назначение;
- сфера применения изделия;
- режим эксплуатации и ряд других.

В пределах каждого классификационного признака можно выделить несколько основных групп РЭС, которые будут рассмотрены ниже. Дополнительно будут раскрыты положения Международного стандарта по защите РЭС от воздействия влаги и проникновения твердых предметов.

4.1. Классификация РЭС по среде обитания

По среде обитания РЭС делятся на три основных класса: наземные, корабельные и авиационные, в том числе космические. Поскольку в рамках каждого из указанных классов существуют различия в условиях эксплуатации с точки зрения климатических и механических воздействий, то каждый из них содержит несколько групп.

Наземные средства в свою очередь согласно ГОСТ 16019–2001 подразделяются на следующие группы:

- 1) Стационарные, работающие в наземных и подземных отапливаемых и вентилируемых помещениях.
- 2) Стационарные, работающие на открытом воздухе и в неотапливаемых помещениях и укрытиях.
- 3) Возимые в кузовах и кабинах автомобилей различного назначения и работающие на ходу.
- 4) Возимые на речных судах с установкой во внутренних помещениях и работающие на ходу.
- 5) Возимые в подвижном железнодорожном транспорте и работающие на ходу.

6) Носимые и портативные, предназначенные для длительной переноски людьми на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, работающие и неработающие на ходу.

Корабельные средства (морские и прибрежные) по условиям эксплуатации подразделяются на размещаемые в следующих условиях:

1) На открытом воздухе на морском берегу или на открытых надстройках корабля.

2) В затапливаемых помещениях и отсеках корабля и работающие в воде под гидравлическим давлением.

3) В закрытых помещениях, отсеках, рубках и каютах, отапливаемых и вентилируемых.

4) В закрытых помещениях быстроходных судов, подверженных значительным механическим воздействиям.

5) На открытых палубах, мостиках и надстройках быстроходных судов.

Авиационные (бортовые) РЭС по эксплуатационным признакам делятся на размещаемые в следующих условиях:

1) На амортизованных панелях и приборных досках, в кабинах или центральных отсеках на самолетах с поршневыми или турбовинтовыми двигателями.

2) В концевых отсеках крыльев таких самолетов, в хвостовом оперении или в месте расположения двигателей.

3) В центральных отсеках фюзеляжа или в кабинах пилотов на самолетах с реактивными двигателями.

4) В концевых отсеках крыльев этих самолетов, в хвостовом оперении или вблизи реактивных двигателей.

5) На космических летательных аппаратах.

Учитывая эксплуатационные требования, предъявляемые к каждой из рассмотренных групп РЭС, необходимо отметить, что приборы одной области применения с успехом могут быть использованы в других областях, независимо от конструктивного исполнения, если оказавшаяся при этом избыточность тех или иных параметров будет экономически оправдана.

4.2. Классификация РЭС по функциональному назначению

Внедрение РЭС во многие сферы человеческой деятельности предопределило ее деление по функциональному назначению. Однако развитие техниче-

ского прогресса, видимо, внесет в существующее деление РЭС новые группы. На сегодняшний день РЭС делятся следующим образом:

радиолокационные (обнаружение и определение дальности, координат места, определение пути и скорости);

телевизионные (передача и прием видимого изображения);

радиосвязи (передача и прием электромагнитных волн, несущих информацию связи);

проводной связи (передача информации и двухсторонняя связь по проводам с использованием промежуточной усилительной аппаратуры);

передачи данных (передача на дальние расстояния и прием цифровой информации, в том числе телеграф, телетайп, факс и т. п.);

звукозаписывающие и звуковоспроизводящие (магнитная и оптическая запись и воспроизведение речи, музыки и прочей информации в диапазоне звуковых частот);

вычислительные (выполнение многообразных счетно-аналитических работ, а также хранение и обработка цифровой информации);

телемеханики (управление приборами, машинами и устройствами на расстоянии);

автоматического регулирования и управления (управление производственными и технологическими процессами);

гидролокационные (направленная передача и прием отраженных сигналов в водной среде, определение глубины и рельефа морского дна, дальности и местонахождения препятствий и плавающих объектов);

навигационные (автоматическое и полуавтоматическое вождение подвижных объектов, определение собственной скорости, направления и местоположения);

электротехнические (получение, преобразование и коммутация электроэнергии);

контрольно-измерительные (измерение электрических и неэлектрических параметров, в том числе в медицине и научных исследованиях);

ультразвуковые (создание ультразвуковых колебаний для технического использования в промышленности и других областях человеческой деятельности).

4.3. Классификация РЭС по сфере применения и режимам эксплуатации

Классификация по данному признаку совмещает в себе некоторые аспекты двух рассмотренных ранее классификационных признаков, но имеет свои особенности. Фактически формируются наиболее обобщенные классы РЭС, позволяющие выделить главные признаки объединения весьма различных изделий в пределах одного класса. К таким классам следует отнести:

профессиональные РЭС;

бытовые РЭС;

промышленные РЭС;

медицинские РЭС;

РЭС военного назначения;

измерительные РЭС, в том числе государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП);

РЭС для научных исследований.

Режим эксплуатации РЭС характеризуется рядом признаков, к которым следует отнести способ обслуживания, степень автоматизации функционирования, режим работы изделия.

По режимам работы РЭС могут быть разделены на два основных класса: РЭС многократного действия и РЭС непрерывного действия.

По способу обслуживания: обслуживаемые и необслуживаемые.

По степени автоматизации в процессе функционирования: автоматические, полуавтоматические, с ручным обслуживанием.

4.4. Классификация РЭС по степени защиты от внешних климатических воздействий

В настоящее время, в связи с появлением на внутреннем рынке большой номенклатуры приборов и изделий РЭС зарубежных производителей и поставкой возрастающего количества изделий отечественной промышленности за пределы страны, возникает необходимость согласования требований по устойчивости РЭС и других изделий в первую очередь к климатическим воздействиям. При этом особое внимание уделяется в возможности проникновения внутрь изделия посторонних предметов и влаги. Степень защиты от указанных факторов определяется международным стандартом EN 60529/IEC 529, который определяет два основных стандарта защиты.

Степень защиты от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями и от попадания твердых тел:

- 0 - Защита отсутствует.
- 1 - Защита от посторонних предметов 50 мм и более (шар диаметром 50 мм не может попасть внутрь, пройдя в отверстие в корпусе).
- 2 - Защита от посторонних предметов 12,5 мм и более (шар диаметром 50 мм не может попасть внутрь, пройдя в отверстие в корпусе; штифт для тестирования длиной 80 мм может попасть внутрь на такую же глубину, тем не менее, должно соблюдаться достаточное расстояние от опасных предметов или деталей).
- 3 - Защита от посторонних предметов 2,5 мм и более (шар диаметром 2,5 мм не может попасть внутрь, пройдя в отверстие в корпусе).
- 4 - Защита от посторонних предметов 1,0 мм и более (шар диаметром 1,0 мм не может попасть внутрь, пройдя в отверстие в корпусе).
- 5 - Защита от пыли (корпус не защищен полностью от попадания пыли внутрь, тем не менее пыль попадает в корпус в таких количествах, чтобы оказать отрицательное воздействие на работу приборов или их безопасность).
- 6 - Полная защита корпуса от пыли (полная защита от попадания пыли внутрь корпуса при давлении в корпусе 20 мбар).

Степень защиты от попадания воды.

- 0 - Защита отсутствует.
- 1 - Защита от капель (падающие вертикально капли воды не могут произвести отрицательного воздействия на корпус).
- 2 - Защита от капель, падающих под углом к вертикали не более 15° (падающие вертикально капли воды не могут произвести отрицательного воздействия на корпус, наклоненный под углом к вертикали не более чем на 15° с любой стороны).
- 3 - Защита от брызг (защита от брызг, падающих под углом не более 60° к вертикали).
- 4 - Защита от брызг (защита от брызг, падающих в любом направлении).
- 5 - Защита от водяных струй (защита от водяных струй любого направления).
- 6 - Защита от мощных водяных струй (защита от мощных водяных струй любого направления).

- 7 - Защита оборудования при временном погружении в воду (защита от попадания воды при временном погружении в воду и при кратковременном повышении нормы давления воды).
- 8 - Защита оборудования при длительном погружении в воду (вода не должна произвести вредного воздействия при длительном нахождении корпуса в воде при соблюдении условий, заранее оговоренных производителем и заказчиком, но в условиях более жестких, чем в пункте 7).

Данные степени защиты обозначаются буквами кода IP.

Пример: IP 54 - изделие защищено от проникновения пыли и брызг воды с любого направления.

4.5. Основные требования к конструкциям РЭС различного назначения

Основные требования к конструкциям РЭС различного назначения выражаются в их способности противостоять климатическим и механическим воздействиям в процессе эксплуатации.

Стационарные РЭС по ГОСТ 16019–2001 делятся на две группы. Работающие в отапливаемых помещениях (наземных и подземных) относятся к первой группе. Вторая группа стационарных РЭС работает на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях. Климатические факторы для этих групп приведены в таблице 1.

Таблица 1

Климатические воздействия на стационарную аппаратуру

Параметры	Первая группа	Вторая группа
Температура	–40...+55 °C	–50...+60 °C
Влажность	80%	95%
Иней, роса	Нет	При T=–10 °C в течение 2...6 часов
Дождь	Нет	Интенсивность до 3 мм/мин в течение до 20 мин
Воздушно-пылевой поток	Нет	Скорость более 10 м/мин в течение более 1 часа
Содержание в атмосфере коррозионно-активных веществ	До 0,2 мг/м	Более 0,2 мг/м

Если учитывать климатические зоны, в которых будут эксплуатироваться стационарные РЭС, то климатические факторы могут быть мягче, температурный интервал уже.

Дестабилизирующие механические воздействия на стационарные РЭС также подразделяются на две группы. При транспортировке частота вибраций составляет 0,5...50 Гц, длительность ударных импульсов 5...10 мс, перегрузки до 5g. При эксплуатации частота вибраций 10...35 Гц, амплитуда вибраций 0,5...0,8 мм.

Переносные средства. Требования по условиям эксплуатации определяются в соответствии с ГОСТ 15160–69 и кодифицированы в соответствии с таблицей 2. При эксплуатации и транспортировке изделия могут подвергаться самым разнообразным воздействиям. Реально при определении устойчивости данного класса РЭС к воздействию механических и климатических факторов следует пользоваться делением РЭС по климатическому исполнению и условиям эксплуатации при механических воздействиях согласно ГОСТ 15160–69.

Существенными для переносных РЭС являются массогабаритные требования. Максимальная масса вместе с тарой для ранцевой аппаратуры не должна превышать 20 кг, для чемоданной - 30 кг, для аппаратуры, упакованной в ящик при переноске двумя людьми, - 50 кг.

Коэффициент заполнения объем не менее 0,7.

Таблица 2

Категории размещения переносной РЭА на объекте

Укрупненные категории	Дополнительные категории
1. Эксплуатация РЭС на открытом воздухе	1.1. Для хранения и работы в помещениях 4-й категории и кратковременной работы в других условиях, в том числе и на открытом воздухе
2. Под навесом и на объектах, где колебания температуры и влажности несущественно отличаются от условий открытого воздуха (палатка, фургон)	2.1. Внутри изделия категория размещения 1; 1.1; 2, но при условии исключения конденсации влаги (например, внутри РЭС)
3. В закрытых помещениях и объектах с естественной и искусственной вентиляцией без кондиционирования	3.1. В нерегулярно отапливаемых помещениях (объектах)
4. В помещениях (объемах), объектах с искусственным климатом	4.1. При кондиционировании или частичном кондиционировании 4.2. Внутри промышленных отапливаемых зданий
5. В помещениях (объемах) с повышенной влажностью, приводящей к частой конденсации влаги на стенах и потолке	5.1. Внутри изделий категории 5, но при условии исключения конденсации влаги на данном изделии

Носимые средства, как правило, работают на открытом воздухе в полевых условиях. Необходимо принимать меры по защите от пыли, песка, грязи, насекомых, грызунов, конденсата и попадания влаги. Частота внешних воздействий может лежать в диапазоне 1...200 Гц, перегрузки при ударах до 15g.

Если изделие предназначено для переноски за спиной, то максимальная масса не должна превышать 15 кг, при расположении на груди - до 6 кг, на ремне через плечо - до 3 кг, карманного типа - до 0,7 кг.

Возимые средства должны обеспечивать безотказную работу при воздействии вибрации и ударов. Каждый вид транспорта имеет свои вибрационные характеристики. Для автомобильного транспорта - 0...200 Гц, для железнодорожного - 5...10 и 15...400 Гц, но согласно стандарту наиболее вероятными являются частоты диапазона 1...200 Гц. Для амортизованных РЭС частота собственных колебаний должна быть менее 10 Гц.

Особенно жесткие условия для работы РЭС создаются на гусеничном транспорте. Реальная частота вибраций может достигать 7000 Гц с амплитудой $\pm 0,025$ мм.

Многократные удары на автомобильном транспорте создают перегрузки до 10g, на железнодорожном - 40g, на гусеничном ходу в случае попадания снарядов в корпус - до 100g.

Воздействие акустического шума достигает 150 дБ.

Климатические условия определяются категорией размещения РЭС на объекте и условиями эксплуатации. Они, как правило, жестче, чем у других видов РЭС.

Суммарная масса РЭС на транспортной базе не должна превышать 30...60% от его грузоподъемности, а масса отдельных блоков - до 60 кг. Габаритные размеры зависят от вида транспорта и места установки РЭС на нем.

Бытовые средства наименее устойчивы к механическим и климатическим воздействиям, поскольку условия их эксплуатации наиболее благоприятны. Температура $25\pm 10^{\circ}\text{C}$ без резких колебаний при относительной влажности $65\pm 15\%$. Для бытовых средств наиболее значимыми являются требования технической эстетики.

Морские средства могут эксплуатироваться в самом широком диапазоне внешних дестабилизирующих воздействий, обусловленном не только объектом, но и местом установки на объекте. Механические воздействия в значительной степени зависят от типа корабля. На крупнотоннажных судах реальная частота вибраций не превышает 35 Гц, на маломерных быстроходных - превышает 200 Гц. Ударные перегрузки могут достигать 10...12g. Климатические условия оп-

ределяются видом исполнения и в общем случае должны лежать в диапазоне -60...+70°C. Специфически постоянным действующим фактором является морская среда. Прежде всего это высокая влажность и насыщенность атмосферы солью. Поэтому при проектировании морских РЭС необходимо уточнить место установки изделия на объекте. Не следует забывать о том, что к морским РЭС относятся изделия, устанавливаемые на буях.

Таблица 3

Параметры внешних воздействий на бортовую аппаратуру

Параметры	Авиацион-ная	Аварийная	Ракетная		Космиче-ская
			большая	малая	
Вибрации: диапазон частот, Гц перегрузки, м /с	5...2000 0,15...25	10...70	10...3000 до 400	50...5000 до 300	1,5...2500 5...60
Удары: длительность, мс число ударов перегрузки, м /с	15 18 50...300	500 750	10...12 500	10...12 1000	-
Линейное ускорение, м /с	до 50	-	50...150	300...500	до 150
Диапазон акустических воздействий, Гц	50...10 000	-	50...10 000		-
Звуковое давление, дБ (Bt/m ²)	до 170(10 ⁵)		до 200 (10 ⁸)	до 190 (10 ⁷)	до 190 (10 ⁷)
Диапазон температур, °C	-70... +295	-70... +35	-65...+165		-
Пониженное давление, ×10 Па	2...100		0,13...100		

Бортовые средства, как правило, работают в наиболее жестких условиях. Характерной особенностью является быстрая смена температур и вибраций. Основные параметры, характеризующие условия эксплуатации бортовых РЭС, представлены в таблице 3.

При установке изделий в кабине или гермоотсеке перепады температур менее значительны (не превышают -40...+50°C). Если предполагается эксплуатировать самолет в тропическом климате, необходимо предусмотреть защиту от высокой (до 100%) влажности. Самолетная и особенно вертолетная аппаратура испытывает сильные вибрации в диапазоне частот 3...2000 Гц при амплитуде до 1 мм. Кратковременные удары и ускорения, возникающие при посадке, могут привести к возникновению перегрузок до 20g.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

5.1. Общие положения ЕСКД

В процессе технического проектирования производства образца РЭА выпускаются различные технические документы. Все требования к последовательности разработки этих документов изложены в *Единой системе конструкторской документации* (ЕСКД).

ЕСКД представляет собой свод требований и рекомендаций по разработке конструкций и по разработке конструкторской документации. Эти рекомендации доведены до категории государственных стандартов. С одной стороны, в них лаконично и строго изложено существо вопросов, что не допускает разного толкования. С другой стороны, доведение рекомендаций до государственного стандарта делает их **законом**, нарушение которого не допускается.

В ЕСКД изложены:

основные положения, касающиеся конструкторской документации;
формы документов;
правила выполнения и оформления чертежей и схем;
графические и буквенные условные обозначения;
обозначения конструкторских документов;
учет, хранение, обращение и изменение конструкторских документов.

Виды изделий - ГОСТ 2.101-68. Изделия в зависимости от их назначения делятся на изделия основного производства и изделия вспомогательного производства.

Изделия основного производства включают изделия, предназначенные для государственных поставок или для коммерческой реализации.

К изделиям вспомогательного производства относятся изделия, предназначенные для собственных нужд предприятия-заказчика.

ЕСКД устанавливает 4 вида изделий:

- | | |
|---------------|-----------------------|
| 1. Детали. | 2. Сборочные единицы. |
| 3. Комплексы. | 4. Комплекты. |

Деталь - изделие, изготовленное из однородного по наименованию и по марке материала без применения сборочных операций.

Сборочная единица - изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе при помощи сборочных операций. К сборочной единице относятся:

а) изделия, разбираемые на составные части для удобства упаковки и транспортировки;

б) совокупность сборочных единиц или деталей, имеющих общее функциональное значение и совместно устанавливаемых в другой сборочной единице на предприятии-изготовителе;

в) совокупность сборочных единиц и деталей, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных на заводе-изготовителе в укладочные средства и которые предусмотрено использовать вместе сложенными изделиями.

Комплекс - это два или более специфицируемых изделий (т. е. изделия, имеющие собственную спецификацию), не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенными для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплект - это два или более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе и представляющие собой набор изделий, имеющих эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

Покупные изделия - это изделия, не изготавливаемые на предприятии, а получаемые с других предприятий в готовом виде.

При разработке любого изделия в соответствии с ЕСКД оформляются конструкторские документы.

Конструкторскими документами называются графические технологические (чертежи, схемы) и текстовые технические (ТУ, ТО, ведомости, спецификации и т. п.) документы, которые в отдельности или вместе с другими документами дают необходимое представление о составе и устройстве изделия и их составных частей и содержат необходимые данные для их изготовления, контроля, приемки и эксплуатации.

5.2. Классификация конструкторских документов

Конструкторская документация классифицируется по ряду признаков:

1. По целям обеспечения работ:

исходная: заявка на разработку и освоение, исходные требования, аванпроект, рекомендации НИР, ТТЗ, ТЗ;

проектная: техническое предложение, эскизный проект, технический проект;

рабочая: производственная, эксплуатационная, ремонтная;

информационная: карта технического уровня и качества продукции, патентный формуляр, информационная карта, регистрационная карта, каталоги, экспертное заключение, акты и протоколы испытаний, решение о снятии с производства.

2. По способам выполнения и характеру использования КД:

Оригиналы - это КД, которые предназначаются для изготовления по ним подлинников. Оригиналы обычно выполняются на плотной бумаге карандашом или тушью (для снятия негативов). Оригиналы хранятся у изготавителя, размножение документов производится с подлинника.

Подлинники - документы, оформленные подлинными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократно воспроизводить с них копии. Подлинник должен иметь подписи должностных лиц, которые его разработали, проверили, провели технологический контроль, нормоконтроль и утвердили. Допускается использовать в качестве подлинника оригиналы, фотокопии или экземпляр образца документа, изданного типографским способом. Такие образцы конструкторских документов должны быть обязательно заверены подлинными подписями ответственных сотрудников за выпуск документов (ведущие конструкторы, главные конструкторы).

Дубликаты — копии подлинников, предназначенные для снятия с них копий на разных предприятиях, выпускающих одно и то же изделие

Копии - это рабочий документ, который используется непосредственно на производстве. Копии получают с подлинника или дубликата.

3. По комплектности:

основная КД. Основная КД - набор документов, который в отдельности или вместе с другими указанными в нем документами дает полное и однозначное представление о комплектовании или изготовлении этого изделия;

основной комплект КД изделия. Основным комплектом КД на изделие называется совокупность документов, относящихся к данному изделию в целом. Основной комплект КД не содержит КД на составные части (на каждую составную часть должен быть свой автономный основной комплект КД);

полный комплект КД. Полный комплект КД включает: основной комплект КД на данную конкретную часть изделия; основные комплекты КД на составные части.

4. По видам документов:

текстовые: пояснительная записка, ведомость, спецификация, ТУ, программа и методика испытаний, расчеты и таблицы;

графические (чертежи): детали, сборочный, общего вида, теоретический, габаритный, электромонтажный, монтажный, упаковочный;

графические (схемы): структурные, функциональные, принципиальные, соединений (монтажные), подключения, общие, расположения.

Ниже будут охарактеризованы основные виды конструкторских документов, наиболее часто разрабатываемые в процессе проектирования.

5.3. Виды конструкторских документов

Виды конструкторских документов на изделия определяются ГОСТ 2.102—68.

Основными текстовыми документами являются:

спецификация - определяет состав сборочных единиц, комплекса или комплекта;

ведомость спецификаций - содержит перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости. Ведомости спецификаций рекомендуется составлять на сложные сборочные единицы, на изделия и комплексы, имеющие 2 и более ступеней входимости составных частей и предназначенные для самостоятельной поставки. При передаче конструкторских документов от разработчиков на предприятие-изготовитель составление ведомости спецификаций обязательно;

ведомость ссылочных документов - содержит перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах на изделие. Ведомость ссылочных документов составляется при передаче КД изготовителю;

ведомость покупных изделий - содержит перечень покупных изделий, применяемых в разрабатываемом изделии. Составляется для изделия, предназначенного для самостоятельной поставки;

ведомость согласования применения изделий - подтверждает согласование с соответствующими организациям применения покупных изделий во вновь разрабатываемом изделии;

ведомость держателей подлинников - содержит перечень предприятий и организаций, в которых хранятся подлинники документов, разработанных для данного изделия;

ведомость технического проекта - содержит перечень документов,

вошедших в техническое предложение;

пояснительная записка - содержит перечень документов, вошедших в эскизный проект. Дополнительно может содержать описание и обоснование технико-экономических решений;

ведомость технического проекта - содержит перечень документов, вошедших в технический проект;

технические условия — содержат технические характеристики и методы их контроля;

программа и методика испытаний - содержит технические данные, подлежащие проверке при испытании изделий;

таблицы - содержат в зависимости от назначения соответствующие данные;

расчеты - содержат расчеты параметров и различных величин;

прочие документы — номенклатура этих документов устанавливается на уровне отраслей Министерством;

эксплуатационные документы - используются при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия (по ГОСТ 2.501-88);

ремонтные документы - содержат данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях (по ГОСТ 2.602-95);

патентный формулляр - содержит данные о патентной чистоте или патентной способности изделия (по ГОСТ 15.012-84).

Основными чертежами в соответствии с ЕСКД являются следующие:

чертеж детали — это конструкторский документ, который содержит изображение детали (с нужным количеством проекций) и всех других данных, необходимых для изготовления деталей и контроля;

сборочный чертеж — это документ, который содержит изображение изделия (с нужным количеством проекций и сечений) и все другие данные, необходимые для его сборки и контроля;

чертеж общего вида - определяет конструкцию изделия и взаимодействие его основных частей;

теоретический чертеж - определяет геометрическую форму, обводы изделия и координаты расположения основных частей; наиболее часто применяется в машиностроении;

габаритный чертеж — содержит контурное упрощенное изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

монтажный чертеж - содержит упрощенное изображение изделия и данные для его установки или монтажа на месте применения.

5.4. Характеристика видов и типов схем

Схемами (по ГОСТ 2.701-84) называются специальные чертежи, которые дают возможность при помощи условных изображений разъяснить или рассмотреть принцип работы как отдельных элементов, узлов и устройств, так и изделия в целом; отдельные особенности работы устройств; правильный монтаж и наладку всех изделий и приборов.

В зависимости от того, какие элементы и связи входят в состав изделия, стандарт делит схемы на следующие **виды**:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------|
| электрические (Э); | оптические (Л); |
| гидравлические (Г); | вакуумные (В); |
| пневматические (П); | газовые (Х); |
| кинематические (К); | автоматизации (А); |
| энергетические и комбинированные (С). | |

В зависимости от основного назначения схемы подразделяют на следующие **типы**:

Структурные (блочные, общие) обозначаются (1) и определяют основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. На таких схемах отдельные узлы или устройства изображаются в виде прямоугольников с соответствующими знаками или условными изображениями внутри. Для более полного понимания работы схемы над каждой линией, соединяющей между собой устройства или узлы, надписывается название или вид передаваемой информации или управляющего сигнала. На линиях, приходящих извне, дополнительно указывается источник информации.

Функциональные обозначаются (2) и разъясняют определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки, комплекс) или в изделии в целом. Все элементы такой схемы должны иметь соответствующие условные обозначения.

Принципиальные (полные) обозначаются (3) и определяют полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дают детальное представление о принципах работы изделия. Эти схемы являются основой для разработки других конструкторских документов.

Соединений (монтажные) обозначаются (4) и показывают соединения составных частей изделия, элементы, которыми осуществляются соединения, а также места их присоединения и ввода. Предназначены для выполнения электрического монтажа сигнальных цепей и цепей питания. Они отличаются от других видов схем тем, что вместо изображения жгутов на схемах разъемов и

переходных колодок пишутся адреса, куда должны быть припаяны провода. Адрес записывается в виде группы **цифр**: первые две - номер разъема, вторые - номер контакта. Выпускаются на конструктивно-законченную единицу.

Подключения обозначаются (5) и показывают внешние подключения изделия.

Общие обозначаются (6) и определяют составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации.

Расположения обозначаются (7) и определяют относительное расположение составных частей изделия, жгутов, кабелей и т.п.

Обозначение схемы состоит из буквы, определяющей ее вид, и цифры, обозначающей тип.

Правила выполнения схем определяются ГОСТ 2.701-84, 2.702-75, 2.710-81, 2.747-68, 2.728-74, 2.755-87, 2.721-74.

5.5. Характеристика классификатора промышленных изделий

Решение основных конструкторских задач связано с тематическим поиском и заимствованием конструкторских документов по их обозначениям, что может быть достигнуто при наличии единой системы обозначения изделий и документов и единого классификатора изделий. Действующие в настоящее время ГОСТ 2.201-80 «ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов» и классификатор ЕСКД обеспечивают:

установление в стране единой государственной обезличенной классификационной системы обозначения изделий и конструкторских документов, обеспечивающей во всех отраслях промышленности единый порядок построения, оформления, учета, хранения и обращения этих документов;

использование различными предприятиями и организациями конструкторской документации, разработанной другими предприятиями, без ее переоформления;

автоматизацию и облегчение ручного поиска конструкторской документации, разработку вторичных конструкторских и технологических документов с применением ЭВМ, внедрение систем автоматизированного проектирования и подготовки производства;

использование классификационных группировок для выявления объектов и определения направлений унификации и стандартизации изделий и их составных частей.

Достижение указанных целей даст возможность сократить сроки и снизить трудоемкость проектирования новой техники и технологической подготовки производства; сроки изготовления и номенклатуру проектируемых изделий, а также запасных частей к ним; широко внедрить средства вычислительной техники и новейшие технико-математические методы в сфере проектирования и управления.

Классификатор изделий и конструкторских документов машино- и приборостроения (Классификатор ЕСКД) создан в качестве основы единой обезличенной классификационной системы обозначений изделий и конструкторских документов основного и вспомогательного производства.

В классификатор ЕСКД включены классификационные характеристики изделий-деталей, сборочных единиц, комплексов, комплексов (ГОСТ 2.101-68 «ЕСКД. Виды изделий»), на которые разработана и разрабатывается конструкторская документация по ЕСКД. Единая структура обозначения изделия и его основного конструкторского документа представлена на рис. 13.

Код организации-разработчика состоит из сочетания четырех букв (прописного шрифта), назначаемый по кодификатору организаций-разработчиков Всероссийским НИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству.

При групповом способе выполнения конструкторских документов их обозначение должно иметь структуру, представленную на рис. 14. Базовое обозначение является общим для всех документов, оформленных одним групповым чертежом, и проставляется в угловом штампе основных надписей чертежа и в таблице исполнительных размеров для первого исполнения. Порядковый номер исполнения присваивается для всех документов, кроме первого, с 01 до 99.

Код классификационной характеристики изделия назначается по Классификатору ЕСКД и представляет собой шестизначное число, последовательно обозначающее класс (первые два знака), подкласс, группу, подгруппу, вид (по

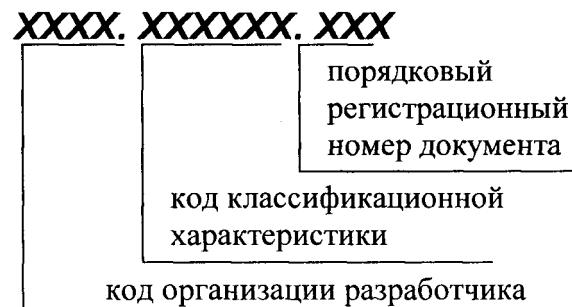


Рис. 13. Единая структура объединения изделия и его основного конструкторского документа (базовое обозначение)

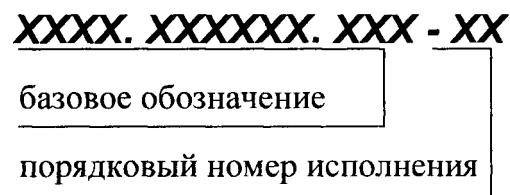


Рис. 14. Обозначение конструкторских документов при групповом способе выполнения

одному знаку). Структура обозначения кода классификационной характеристики представлена на рис. 15.

Классификатор ЕСКД построен по иерархическому десятичному методу, основанному на дедуктивном логическом делении классифицируемого множества. Этим методом достигается конкретизация признаков классификации изделий и документов на каждой последующей ступени классификации.

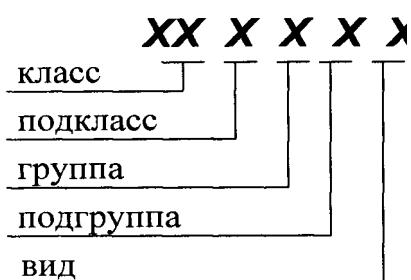


Рис. 15. Структура кода классификационной характеристики

Для каждого класса специфицированных изделий составлен алфавитно-предметный указатель, а для классов деталей - общий. Кроме того, для классов деталей разработаны иллюстрированный определитель, перечень терминов, толкований и сокращенных слов. В АПУ даны в

алфавитном порядке наименования изделий, размещенных в классах, и их коды. Они слу-

жат для ускорения поиска изделий по их наименованиям в соответствующих классах. Перечень терминов содержит термины, их толкования, эскизы деталей и их элементов.

Каждый класс Классификатора ЕСКД делится на 10 подклассов (от 0 до 9), каждый подкласс - на 10 групп (от 0 до 9), каждая группа - на 10 подгрупп (от 0 до 9) и каждая подгруппа - на 10 видов (от 0 до 9).

При классификации изделий в классах Классификатора ЕСКД используются в основном следующие **признаки**:

функциональный (основная эксплуатационная функция, выполняемая изделием);

конструктивный (конструктивные особенности изделия);

принцип действия (физический, физико-химический процесс, на основе которого действует изделие);

параметрический (величины и степени точности рабочих параметров изделия: основные размеры, мощность, напряжение, сила тока, частота и пр.);

геометрической формы;

наименование изделия.

На первом уровне классификации сборочных единиц, комплектов, комплексов, т. е. при формировании классов, использован функциональный признак. Этот признак дает представление об изделиях класса и отличает их от изделия других классов. Наименования, присвоенные классам по этому признаку, непосредственно отражают номенклатуру включенных в них изделий.

Наиболее общие признаки, использованные на верхних уровнях классифи-

кации, конкретизируются на последующих уровнях.

Для классификации общих документов использован подкласс «О» во всех классах. К подклассу «О» относятся документы, регламентирующие общие для изделий всего класса, его подклассов, групп, подгрупп и видов нормы, правила, требования, методы и т. д. в области свойств изделий, их маркировки, упаковки, контроля, приемки, транспортирования, хранения, монтажа, эксплуатации, ремонта, технологии производства и т. п.

5.6. Оформление проектно-конструкторских документов на различных этапах конструирования

В процессе проектирования РЭС техническую документацию составляют в такой последовательности: эскизный, технический и рабочий проекты, отработка технической документации для серийного производства.

Эскизный проект может включать в себя следующие виды документов:

- схемы общие изделия и наиболее сложных составляющих устройств;
- функциональные схемы;
- структурные и принципиальные схемы электропитания, защиты и сигнализации;
- габаритные чертежи и схемы размещения;
- пояснительную записку с требованиями на разработку системы и отдельных ее устройств, основные технические и массо-габаритные характеристики, описание работы системы;
- ориентировочный перечень комплектующих изделий;
- ориентировочный расчет надежности.

Технический проект. Исходными материалами служат эскизный проект, заключение заказчика, уточненное техническое задание, описание алгоритмов и принципов функционирования изделия. Он включает в себя следующие документы:

- схемы структурные и расположения изделия;
- алгоритмы функционирования;
- функциональные схемы всех устройств;
- структурные и принципиальные схемы электропитания, защиты и сигнализации;
- первичный вариант принципиальной электрической схемы изделия в целом;
- перечень функциональных, вспомогательных и специальных плат, блоков с указанием их количества;

карты режимов работы комплектующих изделий, примененных в системе элементов;

плакаты, графики, временные диаграммы, расчетные данные отдельных узлов, тепловые расчеты и т. п.;

расчет надежности изделия;

протоколы испытаний;

пояснительные записки: по изделию в целом, по отдельным устройствам, по системе элементов, по теоретической части, по конструкции;

габаритные чертежи;

конструктивные чертежи сложных устройств;

технические характеристики изделия (после уточнения по эскизному проекту);

ведомость технического проекта.

Рабочий проект. Исходными документами для выпуска рабочего проекта (этап РРКД) служат технический проект и заключение заказчика. При этом разрабатывается следующая документация: ведомость покупных и нормализованных изделий, разрешенных к применению; положение о разработке и согласовании документации с заказчиком; общие ТУ на платы, блоки и отдельные приборы; перечень комплектующих изделий; КД на контрольно-испытательную и стендовую аппаратуру.

Рабочий проект включает в себя всю документацию необходимую для изготовления системы, ее сборки, наладки и эксплуатации. Проект содержит следующие документы:

все виды и типы схем;

чертежи детальные, сборочные, габаритные;

спецификации;

ТУ на блоки, платы, кассеты и т. п.;

технические описания;

инструкции по настройке, регулировке, эксплуатации;

паспорт;

формуляр;

ведомости ЗиП и измерительных приборов;

таблицы проверки режимов полупроводниковых приборов и ИМС;

наружные виды;

перечень схем и чертежей;

производственно-технологическая документация;

программы и методика испытаний;

документация по контрольно-испытательной аппаратуре.

В процессе изготовления и испытаний опытного образца производится отработка документации для серийного производства. При отработке рабочих чертежей и документов целесообразно снабжать их новыми децимальными номерами, поскольку изменения на документах опытного образца порой провести невозможно, т. к. доработки слишком существенны.

6. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К КОНСТРУКЦИИ РЭС

Разработку технических требований на новое изделие рекомендуется проводить в соответствии с ГОСТ 2.114—95 «ЕСКД. Технические условия». В стандарте предлагается 2 перечня основных требований на новое изделие. Первый перечень охватывает семь групп основных требований:

- 1) функциональные показатели нового изделия;
- 2) технико-экономические и эксплуатационные требования к новому изделию;
- 3) надежность работы (функционирование);
- 4) требования к конструкции (требования эргономики, промышленной эстетики, легкосъемности, доступности);
- 5) требования к материалам и полуфабрикатам;
- 6) стабильность параметров изделия при воздействии факторов внешней среды;
- 7) транспортабельность нового изделия, устойчивости к воздействию внешней среды в упакованном виде.

Второй перечень требований охватывает те же основные требования, которые сформулированы в первом перечне, но они сведены в 5 подразделений (уточненные подразделы):

- 1) основные параметры и размеры нового изделия;
- 2) характеристики (свойства нового изделия);
- 3) комплектность;
- 4) маркировка;
- 5) упаковка изделия.

По усмотрению руководителя новой разработки, в зависимости от характера и сложности нового изделия, выбирается первый или второй перечень или

разработки самих требований.

Замечания по форме и существу наложения требований:

1. Каждое требование должно допускать логическую возможность рассматривать его независимо от других требований.
2. Перечень требований должен быть не очень большим, каждое требование излагается предельно лаконично.
3. Каждое требование должно быть сформулировано так, чтобы не возникало необходимости его перефразировать, разделять на части или добавлять что-то.

6.1. Требования по назначению

Требования по назначению являются основными, содержатся в ТЗ на разработку и включают в себя основные технические характеристики РЭС, такие, как данные по функциональному назначению, режимам работы, источнику питания и т. д. Они определяют классификационные признаки РЭС, связанные с климатическим использованием, объектом установки и массогабаритными характеристиками.

В зависимости от климатического района, суши и моря, в соответствии с ГОСТ 15150–69 различают десять основных климатических исполнений:

- 1) Исполнение У - для умеренного климата с температурой $-45...+45^{\circ}\text{C}$.
- 2) Исполнение УХЛ - для умеренного и холодного климата с температурой $-60...+40^{\circ}\text{C}$.
- 3) Исполнение ТВ - для влажного тропического климата с температурой более 20°C в сочетании с относительной влажностью более 80%, действующее на изделие в течение более 12 часов в сутки в течение более двух месяцев ($+1...+45^{\circ}\text{C}$).
- 4) Исполнение ТС - для сухого тропического климата с температурой $+40^{\circ}\text{C}$ (предельные температуры $-10...+45^{\circ}\text{C}$).
- 5) Исполнение М - для умеренного морского климата с расположением севернее или южнее 30° широты ($-10...+45^{\circ}\text{C}$).
- 6) Исполнение ТМ - для тропического морского климата с расположением между 30° северной широты и 30° южной широты ($+1...+45^{\circ}\text{C}$).
- 7) Исполнение О - общеклиматическое исполнение для суши ($-60...+40^{\circ}\text{C}$).
- 8) Исполнение ОМ - для кораблей и судов с неограниченным районом плавания ($-40...+45^{\circ}\text{C}$).

9) Исполнение В - всеклиматическое исполнение для суши и моря (кроме Антарктиды), (-60...+45 °C).

10) Специального исполнения.

Нормальными климатическими условиями (ГОСТ 15150-69) считаются следующие:

температура окружающей среды 25 ± 10 °C;

относительная влажность 45...80%;

атмосферное давление 630...800 мм рт. ст.

Такие условия существуют в отапливаемых помещениях.

Массогабаритные характеристики.

Масса изделия может быть определена следующим образом:

$$M = \sum_{i=1}^n \rho_i v_i, \quad (3)$$

где ρ_i и v_i – плотность и физический объем i-го конструктивного элемента.

Параметры упаковки рассчитываются следующим образом:

- коэффициент заполнения площади:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{S}, \quad (4)$$

где S_i – установочные площади отдельных компонентов;

S – площадь несущей поверхности (подложки, платы, панели), на которой устанавливаются компоненты;

- коэффициент заполнения объема:

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{V}, \quad (5)$$

где V_i – физический объем компонента;

V – габаритный объем устройства.

Как было сказано в пп.1.4, возможно определение показателей массы по эмпирическим расчетам.

6.2. Требования по надежности

В соответствии с ГОСТом 27.002-89 «**Надежность**» свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки».

Надежность объекта (изделия) является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям - безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств.

Безотказность - свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность - свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и транспортирования.

Основным показателем надежности изделия является *среднее время наработки на отказ T_n* . Этот показатель связан с потоком отказов изделия Λ :

$$T_n = \frac{1}{\Lambda}. \quad (6)$$

В свою очередь, поток отказов зависит от интенсивности отказов элементов, входящих в состав **изделия**:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (7)$$

где λ_i — интенсивность потока отказов i -го элемента, входящего в состав изделия.

Дополнительно могут быть назначены и другие показатели, а именно: *вероятность безотказной работы на определенном временном промежутке*. Например: Вероятность безотказной работы осциллографа $P=0,95$ при 10 000 часах работы.

6.3. Требования по безопасности жизнедеятельности

Требования по безопасности установлены системой стандартов по безопасности труда и другими нормативными и законодательными актами. Во время эксплуатации конструкций РЭС должна быть обеспечена защита людей от поражения электрическим током, воздействием высоких температур, рентгеновского и ВЧ-излучения, последствий взрыва электровакуумных приборов, механической устойчивостью РЭС.

Требования по электробезопасности Проектирование электробезопасной электронной аппаратуры осуществляется в соответствии с классификацией, приведенной на рис. 16.

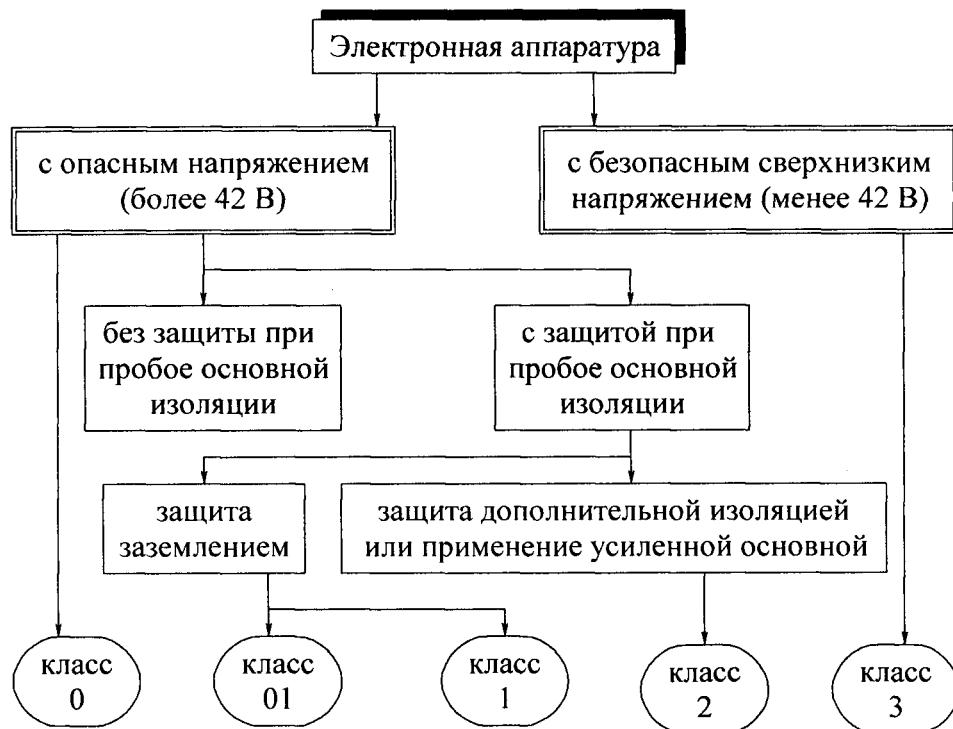


Рис.16.Классификация электронной аппаратуры по электробезопасности

Защитное заземление может быть осуществлено зажимом дополнительно к вилке, шнуром питания с земляным проводником (наиболее характерно для СВТ), кабелем с земляной жилой.

Защитные оболочки должны быть выполнены таким образом, чтобы не были доступны:

- элементы конструкции, находящиеся под опасным напряжением;
- усиленная основная изоляция аппаратуры класса 2;

элементы металлических конструкций, отделенные только основной изоляцией от элементов, находящихся под опасным напряжением для аппаратуры класса 0;

металлические части конструкции аппаратуры классов 01 и 1, отделенные от частей, находящихся под опасным напряжением, только основной изоляцией и изолированные от зажима защитного заземления.

Допустимое превышение температуры определено ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Мощность дозы излучения не должна превышать 100 мкР/ч. Конструкция изделия должна обеспечивать защиту от него. Особенno актуально выполнение этого требования для мониторов ПЭВМ. В настоящее время в России используются мониторы, отвечающие шведским более жестким, чем российские, требованиям MPR-II и ТСО 99. Такие мониторы не требуют применения защитных экранов.

Требования взрывобезопасности. Кинескопы с диагональю более 16 см должны быть взрывобезопасны. Любой взрывоопасный прибор вне зависимости от размеров должен иметь экран, который не может быть снят вручную.

Механическая устойчивость и надежность. Обеспечивается низким расположением центра тяжести, широким основанием и хорошим сцеплением с местом установки. Устойчивость проверяется путем медленного вращения аппарата на столе с наклоном в 10°.

6.4. Эргономические и эстетические требования

Эргономические требования - связаны с антропологическими и чувственными характеристиками человека-оператора:

гигиенические показатели - характеризуют изделия и элементы конструкции, которые при эксплуатации нагреваются, шумят, выделяют токсические вещества или являются источниками радиации;

антропометрические показатели - характеризуют конструкцию с точки зрения рациональности и удобства эксплуатации человеком путем учета размеров, форм и веса человеческого тела и его частей в статике и динамике. Ограничения:

аппаратуой должны управлять 90...95% людей в возрасте 18...60 лет в соответствующей одежде, обуви, головных уборах;

оборудование не должно поворачиваться, не должно быть ложных воздействий на органы управления из-за несоответствия его конструкции антropометрическим показателям.

пометрическим данным оператора. Существуют определенные временные нормы для выполнения оператором того или иного действия;

физиологические показатели - характеризуют изделия, эксплуатация которых связана с мышечными усилиями (до 6 кг - легкие, 6...15 кг - умеренная нагрузка, 15...30 кг - средняя, 30...50 кг - тяжелая);

психофизиологические показатели — влияют на объем и скорость рабочих движений человека. Учитываются объемы зрительной (размер, яркость, форма, контрастность, цвет, пространственное расположение), слуховой и тактильной (осознательная) информации;

психологические показатели — характеризуют особенности восприятия оператором информации и реакцию на нее. Определяются:

ограничением на объем информации;

задержкой в реагировании на поступающую информацию;

ограничением по объему кратковременной и долговременной памяти оператора.

Эстетические требования - требования к внешнему виду изделия:

выразительность отображение функционального качества;

гармоничность согласованное, стройное расположение составных частей и элементов внешнего оформления по форме, линиям, цвету, свету;

оригинальность - отличительные признаки в соотношении элементов, формы, взаимодействия составных частей;

стиль - характеризуют единство конструкций для класса РЭС или фирмы производителя.

Эстетические требования выражают в конструкции композиционные решения:

масштабность - различия в размерах функциональных элементов не более 35%;

пропорциональность сторон 1:2, 2:3;

ритм - горизонтальные линии ассоциируются со статичностью, вертикальные с динамичностью;

конtrast - резкое выделение групп элементов;

нюанс - незначительное различие в расположении и цветовом исполнении, подчеркивающее большую значимость элемента в функциональной группе;

симметрия;

асимметрия.

В ряде случаев могут оговариваться и другие показатели.

6.5. Экономические, патентно-правовые требования и требования по стандартизации

Требования по стандартизации. Стандартизация — это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности специалистов для достижения оптимальной экономичности.

Основные задачи стандартизации применительно к РЭС:

установление единых требований к качеству РЭС, а также сырья, материалов и деталей, необходимых для ее изготовления;

определение единой системы показателей качества РЭС, методов и средств контроля и испытаний, уровня надежности при эксплуатации;

установление норм и требований при проектировании с целью обеспечения оптимального качества и исключения нерационального многообразия видов, марок и типоразмеров;

развитие унификации комплектующих изделий, повышения уровня взаимозаменяемости, эффективности эксплуатации и ремонта РЭС;

установление единой системы документации, классификации и кодирования информации. Разработка стандартов на виды носителей информации;

установление стандартов жизнедеятельности человека и охраны природы и природных ресурсов.

Стандарты подразделяют на следующие категории:

международные;

межгосударственные стандарты стран СНГ - ГОСТ;

стандарты Российской Федерации - ГОСТ Р;

стандарты организации (предприятия) - СТО.

Созданные ранее отраслевые стандарты (ОСТы) также используются в ряде случаев, но более не разрабатываются.

Методы стандартизации:

ограничение (сimplификация) — отбор и ограничение номенклатуры изделий из разрешенных для применения при производстве в данной отрасли, на предприятии, в данной конструкции РЭС;

типизация изделий — сокращение номенклатуры путем установления типовых изделий, выполняющих большинство функций составных частей определенной совокупности (метод базовых конструкций);

агрегатирование — создание конструкции частного функционального назначения на основе размерной и/или функциональной взаимозаменяемости.

Геометрическая и функциональная взаимозаменяемость дает возможность создавать РЭС с различными характеристиками назначения.

унификация - рациональное сокращение номенклатуры путем отбора и создания новых объектов широкого применения. От типизации отличается тем, что не только устанавливает типовые объекты, но и создает новые широкого назначения. От агрегирования - тем, что создаются конструкции не частного функционального назначения, а широкого назначения. От стандартизации - тем, что не оформлены соответствующие стандарты.

Показатели стандартизации:

обобщенный показатель — коэффициент унификации изделия (K_y):

$$K_y = 1 - \frac{E_y + D_y}{E + D}, \quad (8)$$

где E_y и D_y — число унифицированных, заимствованных, покупных и стандартных элементов, деталей и сборочных единиц;

E и D общее число элементов, деталей и сборочных единиц;

частными показателями можно считать коэффициенты унификации сборочных единиц, деталей, конструктивных элементов, коэффициенты стандартизации сборочных единиц и деталей.

Экономические требования - направлены на уменьшение стоимости РЭС на всех этапах жизненного цикла. Основной показатель - *суммарная стоимость РЭС*:

$$C_{\Sigma} = C_{np} + C_{uz} + C_{\vartheta} + C_y, \quad (9)$$

где C_{np} , C_{uz} , C_{ϑ} , C_y — стоимости проектирования, изготовления, эксплуатации и утилизации соответственно.

Каждая из указанных составляющих в свою очередь имеет множество компонентов.

Патентно-правовые требования отражаются в патентном формуляре вновь разрабатываемого изделия, который должен соответствовать ГОСТ 15.012-84 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формулляр». Требования включают в себя патентоспособность и патентную чистоту.

Патентоспособность - защита прав автора на изобретение патентами, действующими в России, приоритетных и экономических прав на интеллектуальную собственность.

При проектировании РЭС этим свойством могут обладать юридически оформленные технические решения, отличающиеся новизной, существенными отличиями от старых и полезностью. Решение обладает существенными отличиями, если оно характеризуется новой совокупностью признаков, дающих положительный эффект, т. е. улучшения качества. *Полезность* - положительный эффект технического решения, проявляющегося многократно и стабильно.

Оценке подлежат также программные продукты, промышленные образцы и товарные знаки.

Показатель патентной защиты:

$$K_{nз} = 1 - \frac{m \times \sum_{i=m}^n a_{in} n_{in}}{n}, \quad (10)$$

где a_{in} - коэффициент веса составных частей;

n - общее количество составных частей;

n_{in} - количество составных частей, защищенных патентами;

m - число стран, в которых получены патенты.

Чем больше составных частей защищено патентами, тем меньше коэффициент патентной защиты.

Патентная чистота характеризует непопадаемость данного технического решения под действие патентов той страны, где оно используется. Использование без правил разрешения изобретения, раскрытое в другой стране, не нарушает правил закона, если это изобретение не запатентовано в этой стране, но не дает право на экспорт изделий, содержащих данное техническое решение.

Показатель патентной чистоты:

$$K_{nч} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{inч} n_{inч}}{n}, \quad (11)$$

где $a_{inч}$ и $n_{inч}$ - весовые коэффициенты и число составных частей соответственно, попадающих под действие патентов в данной стране.

Для патентно чистого изделия $K_{nч}$ равен нулю.

Кроме указанных показателей разрабатываются показатели технологичности, существенно влияющие на производство РЭС, о которых было сказано ранее.

7. КОМПОНОВКА И ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЭС

7.1. Виды и задачи компоновочных работ

Схемы современных радиоэлектронных систем настолько сложны, что непосредственная конструкторская разработка рабочих чертежей невозможна без выполнения предварительной части работ — компоновки РЭС по заданным требованиям.

Компоновка - процесс создания из отдельных составляющих частей за- конченного изделия, отвечающего всем требованиям технического задания.

Это первый этап проектных работ, позволяющий выбрать наиболее приемлемое решение поставленных задач без существенной потери времени. Выбираются основные технические направления и принцип действия. Далее:

определяются конструктивные составляющие изделия;

устанавливается их взаимное расположение и связи;

определяются габаритные размеры и масса изделия.

Результатом компоновочных работ являются компоновочные чертежи. Они позволяют рассчитать прочность, тепловой режим и вибродеяния, оценить компактность аппаратуры и условия ее размещения на объекте.

В процессе компоновки необходимо соблюдать следующие требования:

между отдельными узлами и блоками должны отсутствовать заметные паразитные взаимосвязи, влияющие на технические характеристики изделия; тепловые и механические влияния элементов не должны значительно ухудшать технические характеристики;

взаимное расположение элементов конструкции должно обеспечивать технологичность сборки и монтажа с учетом использования автоматов и полуавтоматов, легкий доступ к деталям для контроля, ремонта и обслуживания:

изделие должно удовлетворять требованиям технической эстетики;

габариты и масса изделия должны быть минимальны.

Уменьшить трудоемкость работ и повысить наглядность результатов позволяют методы компоновочных работ:

графическая; модельная;

натурая.

Аналитичес

характеристик конструкции нового изделия аналитическим методом. Путем последовательного суммирования определяются примерные величины объема, ве-

са, габаритов и некоторых других параметров аппаратуры, которые необходимы на первом этапе проектирования. Расчеты проводят на той стадии разработки изделия, когда окончательно отработана функциональная схема, выбрана элементная база и составлена принципиальная схема.

Аппликационная компоновка. Применяется при разработке двумерных конструкций (печатных плат). На лист с координатной сеткой накладывают аппликации, упрощенно повторяющие контуры электрорадиоэлементов при виде сверху. Добиваются оптимального размещения.

Графическая компоновка. Является логическим продолжением аппликационной. Применяется в случаях, когда элементы конструкции имеют большие габариты. Кроме того, она очень удобна при использовании машинных методов компоновки. В настоящее время метод применяется в САПР PCAD.

Модельная компоновка. Применяется в случаях, когда получить оптимальную компоновку аппликационным или графическим способами трудно или невозможно. Наиболее часто в случаях, когда:

конструкция трехмерная и состоит из элементов сложной конфигурации и различных размеров;

когда необходимо размещать РЭА в неудобных и мысленно непривычных пространствах и объемах (часть цилиндра, конуса, сферы);

при эстетической отделке конструкции.

Натурная компоновка. По сути аналогична модельной и применяется, когда необходимо в короткие сроки разработать новое изделие. Рабочий макет изготавливают из натуральных элементов и узлов.

Развитие компьютерной техники и совершенствование пакетов САПР постепенно стирают грани различия между приведенными выше видами компоновки. Аналитический, графический и модельный виды могут быть реализованы даже на ПЭВМ.

Процесс компоновки делят на два этапа. На первом этапе осуществляют внутреннюю компоновку: решают основные вопросы образования отдельных конструктивных составляющих и размещения схемных элементов. На втором этапе осуществляют внешнюю компоновку: решают общие вопросы формообразования и компоновки отдельных устройств и приборов исходя из условий наиболее качественного выполнения технических требований их эксплуатации.

Оценка плотности заполнения объема РЭС может быть выполнена по значению коэффициента заполнения объема (см. пп. 6.1) или, как его часто назы-

вают, коэффициента компактности, который характеризуется отношением суммы объемов элементов к общему объему сборочной единицы V_c , т. е.

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{V_c}, \quad (12)$$

Однако при определении компактности сложных РЭС, в которых число элементов может исчисляться тысячами, определение объема всех схемных элементов связано с большой затратой времени. Такая задача может быть упрощена при использовании данных, накопленных в процессе выполнения предшествующих разработок. В настоящее время при оценке компактности РЭС широко используют способ, характеризующий компактность по количеству схемных элементов, приходящихся на единицу объема сборки. Такая оценка учитывает средние габаритные размеры элементов независимо от степени их микроминиатюризации. Если в выражении (12) заменить сумму фактических объемов всех n элементов значением их среднего объема V_{cp} , то коэффициент заполнения можно записать в виде $nV_{cp}/V_c = \gamma V_{cp}$. Тогда плотность заполнения объема конструктивной составляющей примет вид $\gamma_C = n/V_C$.

Ориентировочно масса M разрабатываемого изделия на ранних стадиях может быть оценена по формуле

$$M = m_{y\partial} V_c, \quad (13)$$

где $m_{y\partial}$ - удельная масса изделия, зависящая от функционального назначения изделия, объекта установки, схемотехнических решений и выбранной элементной базы ($\text{г}/\text{см}^3$).

Сравнивая плотность заполнения объема РЭС схемными элементами различных поколений, можно отметить, что если при использовании вакуумных ламп пальчиковой серии плотность компоновки составляла от 0,03 до 0,4 деталей/ см^3 , то при переходе на полупроводниковые приборы и печатный монтаж плотность компоновки возросла в 5 раз (от 1 до 2 деталей/ см^3). При использовании пленочных интегральных микросхем плотность компоновки увеличилась в 50 раз (от 50 до 100 деталей/ см^3), а при использовании полупроводниковых интегральных микросхем — в 600 раз (от 500 до 1200 деталей/ см^3). В настоящее время количество схемных элементов на кристалле СБИС достигает нескольких миллионов, и на первое место выходит проблема установки микросхем на плату ввиду большого количества и плотного расположения выводов.

7.2. Особенности компоновки радиоэлектронных модулей второго уровня

Компоновка РЭМ-2 имеет ряд особенностей, обусловленных ограничениями различного рода. Основными из них являются:

1. Ограничения габаритных размеров и конфигурации печатной платы. Габаритные размеры ГШ должны соответствовать ГОСТ 10317-79 при максимальном соотношении сторон 5:1. Рекомендуется простая прямоугольная форма. Конфигурацию, отличную от прямоугольной, следует применять только в технически обоснованных случаях. Типоразмеры ГШ могут быть ограничены типовыми несущими конструкциями высших структурных уровней (блок, аппарата, стойки). В практической деятельности нужно руководствоваться выбранным вариантом компоновки устройства в целом. Максимальный размер наибольшей стороны ГШ равен 470 мм и ограничен технологическими возможностями оборудования. Для РЭС специального назначения один размер платы фиксирован и равен 170 мм, а второй изменяется следующим образом;

для самолетной и морской - 75 мм, 120 мм;

для стационарной и возимой - 75 мм, 120 мм, 240 мм;

для ЭВМ серии ЕС и специализированных систем управления применяется единый размер ГШ - 150×140 мм.

2. Вид внешнего соединения печатных плат. На выбор вида внешнего соединения (разъемного или неразъемного) влияет ряд факторов:

выбранный предварительный вариант компоновки (масса, габариты);

ремонтопригодность (принятая система ремонта и замены);

надежность внешних цепей.

Разъемные соединения обладают следующими особенностями:

масса и габариты соединения могут увеличиваться на 10-20% по сравнению с неразъемными;

несколько падает надежность межсоединений (отношение интенсивностей отказов разъемного и неразъемного контакта составляет около 1...4);

уменьшается на 15...25% трудоемкость изготовления межячеекной коммутации.

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

Проведение компоновочных работ. Процесс компоновки РЭМ-2 с печатным монтажом искусственно расчленяется на две подзадачи - оптимального размещения элементов и оптимальной трассировки. Задачей компоновки является разработка такого варианта расположения ЭРЭ на плате и такого рисунка печатных соединений, при котором устройство отвечало бы своему функциональному назначению и имело бы заданные параметры и характеристики. При этом рекомендуется следующее.

При размещении:

обеспечение минимума теплового градиента за счет расположения теплонаруженных ЭРЭ по периметру **1111**;

повышение надежности модулей при размещении более надежных элементов в местах наибольшей амплитуды виброускорений (в центре платы);

повышение жесткости модулей за счет установки более тяжелых элементов ближе к точкам крепления;

введение экранов и выделение для них места.

При оптимальной трассировке:

минимизация длины отдельных проводников;

обеспечение минимума паразитных связей;

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

определение рабочей площади **1111** для трассировки.

Размещение навесных элементов рекомендуется осуществлять следующим образом:

принципиальная электрическая схема разбивается на функционально связанные группы;

составляется таблица соединений;

производится размещение навесных элементов в каждой группе;

группа элементов, имеющая наибольшее количество внешних связей, размещается близи соединителя;

группа элементов, имеющая наибольшее число связей с уже размещенной группой навесных элементов, размещается рядом и т. д.

При проведении компоновочных работ необходимо соблюдать следующие правила:

для обеспечения возможности групповой пайки все ЭРЭ устанавливаются только с одной стороны платы, исключая тем самым воздействие припоя на элементы (за исключением чип-элементов);

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

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

должно соблюдаться определенное расстояние от корпуса элемента до места пайки, регламентируемое стандартами или техническими условиями на данный элемент;

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

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

Рациональная компоновка ЭРЭ на ГШ невозможна без творческого подхода, обдуманного выбора технического решения, построенного на разумных компромиссах между противоречивыми требованиями схемы, конструкции, условий эксплуатации, возможностями технологии и стоимостью. Важно правильно оценить значимость (вес) каждого предъявляемого к конструкции требования. Очевидно, что для одной и той же схемы можно предложить несколько различных вариантов компоновки. Нахождение оптимального компоновочного решения является весьма сложной задачей. Наиболее часто при компоновке используется апpliedационный метод и его компьютерные реализации.

Можно количественно оценить некоторые компоновочные параметры:

$$\eta = \frac{N}{abc}, \quad (14)$$

плотность упаковки

$$Ks = \frac{\sum_{i=1}^N Si}{ab}, \quad (15)$$

коэффициент использования площади платы

$$Kv = \frac{\sum_{i=1}^N Vi}{abc}, \quad (16)$$

коэффициент заполнения объема блока

где N - количество ЭРЭ, установленных на плате;

Si , Vi – соответственно установочная площадь и установочный объем i -го элемента схемы;

a , b , c - соответственно длина, ширина и высота на печатной плате.

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

Окончательное выяснение качества и рациональности компоновки может быть проверено макетированием.

7.3. Компоновочные схемы радиоэлектронных модулей третьего уровня

В настоящее время при разработке РЭС различного назначения широко используются 9 компоновочных схем.

Выдвижной блок коробчатого типа. Традиционная объемная компоновка. Основа - металлический каркас. Внутри каркаса устанавливаются навесные элементы на ламповых панелях, монтажных стойках и колодках. Соединение элементов осуществляется объемным проводным монтажом или жгутами. Очень широкое распространение данная компоновочная схема имеет при использовании крупногабаритных ЭРЭ.

Достоинства: простота, технологичность, высокий уровень доступности ко всем элементам, хорошая ремонтопригодность, простота электрических соединений, хорошее электромагнитное экранирование, нормальный тепловой режим, малая стоимость.

Недостатки: малая плотность компоновки, высокая удельная материалоемкость, недостаточная унификация и стандартизация элементов конструкции блока, свободная компоновка в трехмерном пространстве с трудом поддается автоматизации.

Рекомендуется для лабораторных измерительных приборов и мощных блоков питания и передатчиков.

Блоки разъемного типа.

Логическое развитие предыдущей конструкции. Внутри блока размещается несущая панель с разъемами, в

которые вставляются функциональные ячейки. На рисунке 17 представлен внешний вид несущей конструкции, а на рисунке 18 блок в целом.

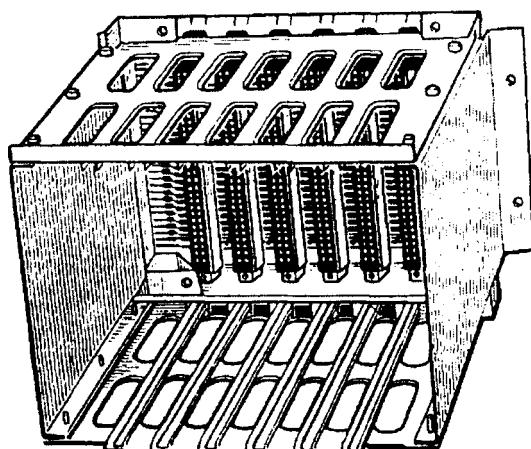


Рис. 17. Общий вид несущей конструкции блока разъемного типа

Достоинства: высокая плотность компоновки, малая удельная материалоемкость, легкосъемность ТЭЗ, хорошая ремонтопригодность, высокая вибопрочность, простота электрических соединений, хорошее электромагнитное экранирование, нормальный тепловой режим, высокая унификация и стандартизация, возможность автоматизированного проектирования.

Недостатки: низкая надежность из-за большого количества соединителей, высокая трудоемкость изготовления, более высокая стоимость, требует более дорогостоящего оборудования.

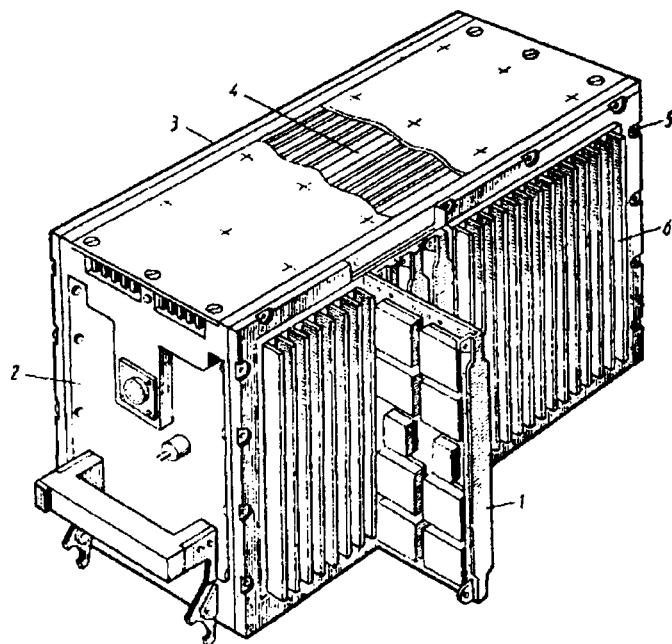


Рис. 18. Внешний вид блока разъемной конструкции:

1 - функциональная ячейка; 2 - лицевая панель; 3 - боковая стенка; 4 — средняя стенка или планка крепления; 5 - болт крепления; 6 - боковой ребристый теплоотвод

Блоки гребенчатой конструкции. Имеют вдвое большую возможность прокладки соединительных проводников между функциональными ячейками за счет установки коммутационных плат с разъемами с обеих боковых сторон блока.

Достоинства: высокая плотность компоновки, низкая материалоемкость, простота конструкции, отсутствие электрических внутренних соединителей, возможность герметизации любыми способами, возможность автоматизированного проектирования.

Недостатки: низкая ремонтопригодность, плохой тепловой режим, высокая стоимость.

Применяются в бортовой аппаратуре.

Блоки этажерочной конструкции (рис. 19). Пакет функциональных ячеек размещается над монтажной панелью, играющей роль основания. Внутренний монтаж - жгутами.

Достоинства: простота, невысокая стоимость.

Недостатки: плохой отвод тепла, низкая ремонтопригодность.

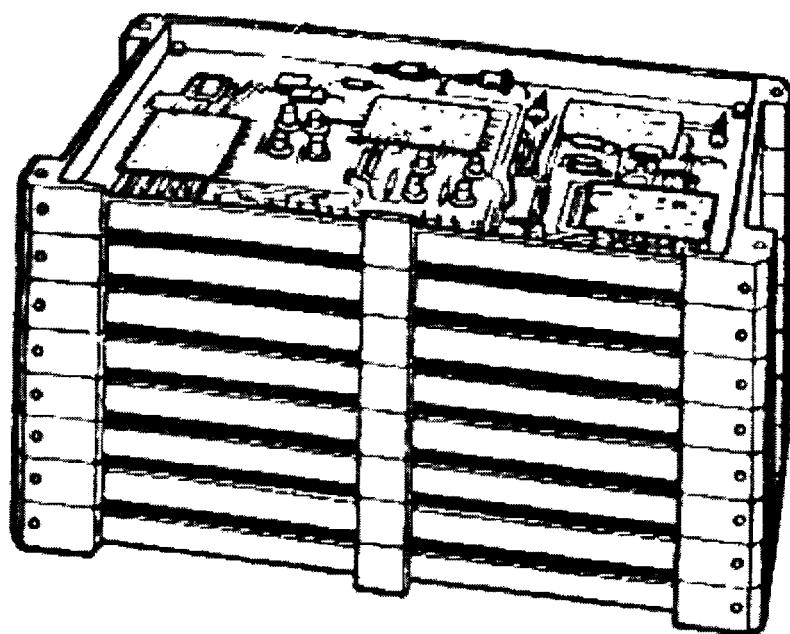


Рис. 19. Внешний вид блока этажерочной конструкции

Блок плоского рамочного типа. На каркас-рамку (рис. 20) с одной или двух сторон устанавливают небольшие функциональные ячейки. Достоинства: простота конструкции, высокая плотность компоновки, низкая материалоемкость, хорошая доступность и ремонтопригодность, высокий уровень стандартизации и унификации, возможность автоматизации проектирования. Недостатки: высокая стоимость, необходимость точной обработки элементов конструкции. Применяются в больших ЭВМ и аппаратуре связи.

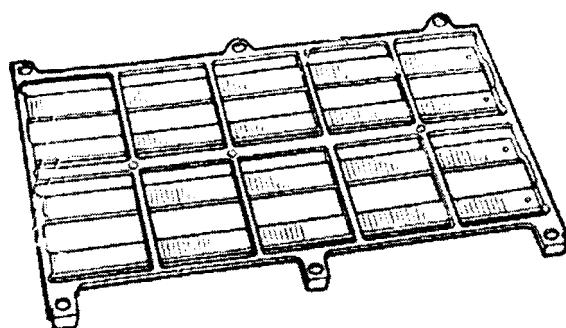


Рис. 20. Внешний вид несущей рамки конструкции

Блоки книжной конструкции (рис. 21). Не имеют внутренних разъемов. Внутренние соединения выполняются пайкой мягких проводов, кабелей и жгутов. Могут содержать от 2 до 12 ячеек.

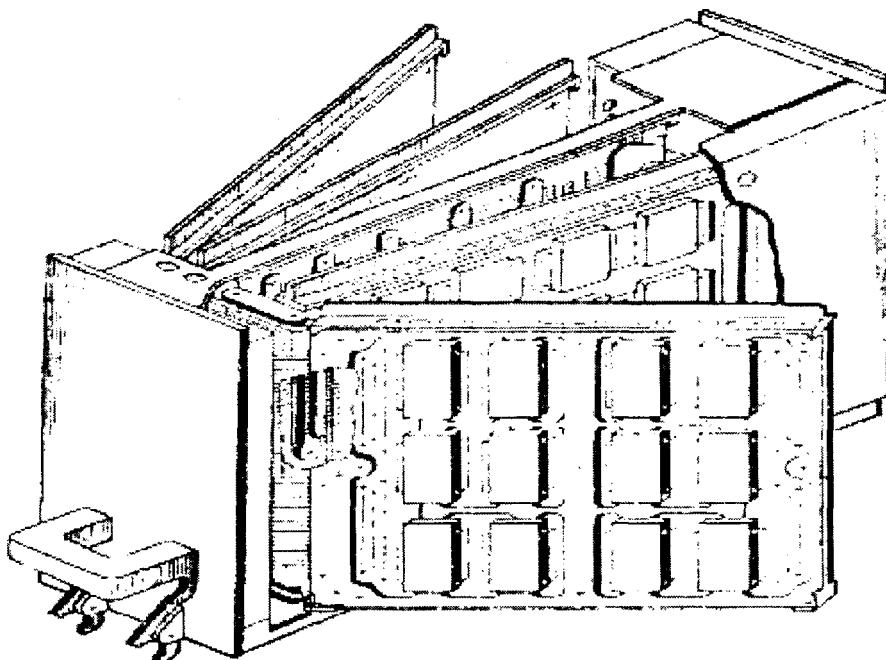


Рис. 21. Блок книжной конструкции

Достоинства: высокая плотность компоновки, низкая материалоемкость, большая схемотехническая емкость блоков, отсутствие электрических внутренних соединителей, хорошая доступность и ремонтопригодность, возможность герметизации недорогими способами, возможность автоматизированного проектирования. Этим и объясняется широкое распространение блоков книжной конструкции.

Недостатки: сложность конструкции блока, плохой тепловой режим, высокая СТОИМОСТЬ.

В блоках книжной конструкции на бескорпусных БИС, СБИС и микросборках удалось при одинаковой функциональной сложности уменьшить объем по сравнению с объемами блоков на корпусированных ИМС за счет применения прогрессивных методов многослойного электромонтажа на уровне ячеек, гибких шлейфов для межячеевого монтажа, миниатюризации высокочастотных и низкочастотных соединителей, совместимости по габаритно-установочным размерам навесных дискретных ЭРЭ с бескорпусными БИС.

Применяются в бортовой аппаратуре.

Блоки с откидными ячейками (рис. 22). По сравнению с предыдущим вариантом материалоемкость, плотность компоновки и доступность примерно

одинаковы. Сложность шарнирного устройства проще, поэтому технологичность более высокая, стоимость меньше. Применяются в бортовой аппаратуре.

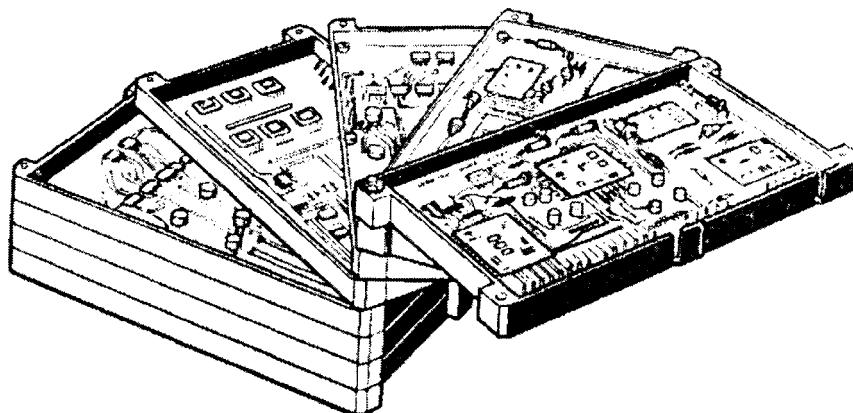


Рис. 22. Конструкция блока с откидными ячейками

Блоки комбинированной конструкции (рис. 23). ФЯ соединяются внутри как детская складная книжка. Внутренняя ячейка прикрепляется на шарнире, остальные крепятся к ней друг за другом также на шарнирах. Возможно применение в качестве соединительных элементов гибких шлейфов и плоских кабелей. Достоинства и недостатки аналогичны двум предыдущим вариантам, но эксплуатация и профилактика проще. Вибростойкость - хуже, поскольку внутренние ячейки имеют недостаточное механическое крепление. Проблема решается уменьшением массы ячеек (при использовании планарных ИМС и ЭРЭ) и установкой между ними демпфирующих прокладок (поролон, полипропилен и т. п.).

Применяется в бортовой и носимой аппаратуре.

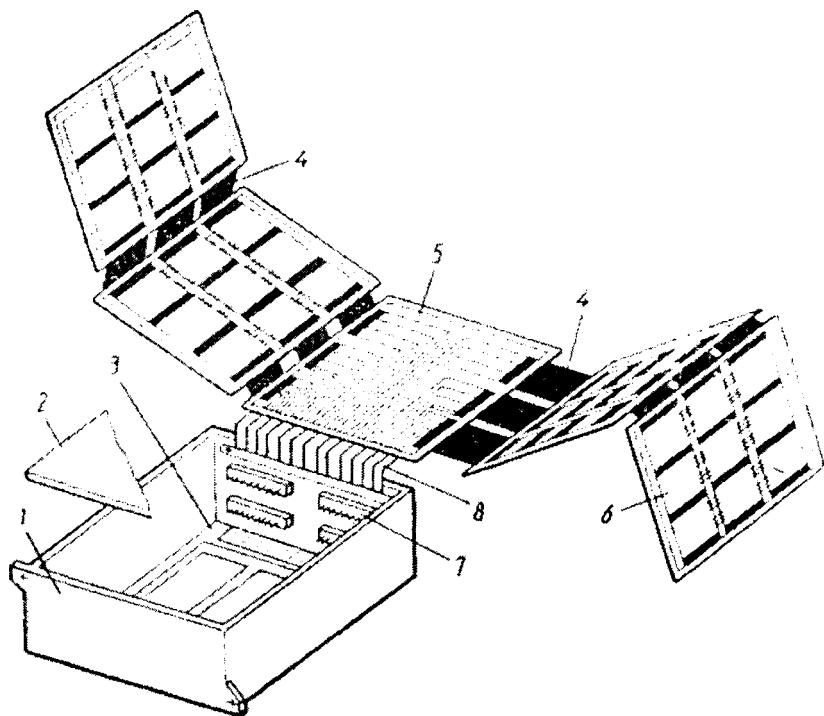


Рис. 23. Общий вид развернутого блока бортовой ЭВМ:
1 - гермокрпус; 2 - крышка; 3 - плата вторичного источника питания;
4 - шлейф; 5 - коммутационная плата; 6 - ячейка;
7 - соединитель; 8 - плоский кабель

Блоки сложной формы (рис. 24). Применяют, когда необходимо разместить аппаратуру в контейнерах цилиндрической или конической формы. В контейнерах небольших применяют хордовое расположение ФЯ, в больших - радиальное. Все электрические связи осуществляют по основанию - внешнему контуру.

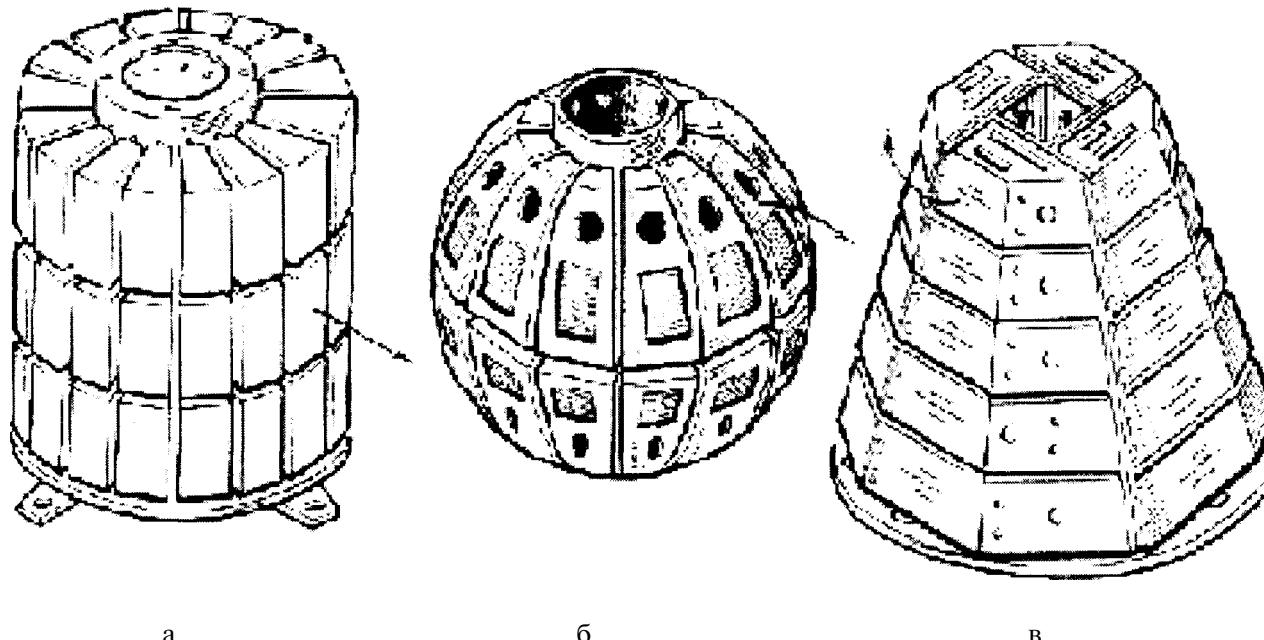


Рис. 24. Конструкции блоков сложной формы:
а) - цилиндрической; б) - сферической; в) - конической

Достоинства: возможность размещения блоков РЭС в условиях дефицита свободного места.

Недостатки: малая технологичность и ремонтопригодность.

Применяется в бортовых РЭС.

7.4. Обобщенная методика компоновки блока

Предлагаемая методика наиболее часто используется при проектировании РЭС общего назначения, поскольку основана на системном анализе принципиальной схемы, а последовательность ее проведения логически связана и соответствует общей последовательности проведения проектно-конструкторских работ.

Исходные данные:

принципиальная электрическая схема блока, на которой в результате анализа должны быть выявлены элементы, требующие установки вне печатных плат (трансформаторы, электролитические конденсаторы большой емкости и т. д.); элементы, требующие теплоотводящих радиаторов (транзисторы, диоды,

микросхемы) или терmostатирования (кварцевые генераторы); элементы, требующие экранирования (входные каскады усилителей или приборов и т. п.); элементы, устанавливаемые на лицевой и задних панелях;

требования, предъявляемые объектом установки изделия (защита от воздействий внешней среды и воздействие механических факторов);

требования, предъявляемые конструкцией более высокого уровня при ее наличии (базовые несущие конструкции);

требования эстетики.

Предварительная разработка конструкции блока:

аналитическая компоновка блока:

расчет объема, необходимого для размещения элементов схемы:

анализ базовых и типовых несущих конструкций с учетом требований по размещению на лицевой панели органов управления и **индикации**;

выбор вида компоновочной схемы блока с учетом условий эксплуатации;

выбор типа электрического монтажа;

разработка предварительного варианта компоновки блока;

выбор способов защиты от дестабилизирующих факторов (механических, климатических, помех);

выбор способа обеспечения нормального теплового режима блока;

выбор конструкторских решений, обеспечивающих максимальное удобство ремонта и эксплуатации устройства;

обеспечение требований стандартизации, унификации и технологичности.

Окончательная разработка основных элементов и узлов конструкции устройства:

выбор базовых несущих конструкций и их элементов;

выбор конструктивного исполнения защиты устройства от механических воздействий, а также элементов крепления и фиксации;

выбор конструктивных элементов электрического монтажа;

выбор типов электрических соединителей;

выбор конструктивного исполнения экранов и заземлителей;

выбор устройств охлаждения элементов, плат и блока в целом;

выбор защитных и **защитно-декоративных** покрытий;

выбор способов маркировки деталей и сборочных единиц, нанесение надписей на лицевые панели.

Окончанием компоновки можно считать разработку чертежей: компоновки, сборочного, электромонтажного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие радиоэлектронных средств происходит очень стремительно. При этом резко вырастают их функциональные возможности. В целом можно констатировать, что перспективные РЭС будут изготавливаться на постоянно совершенствующейся элементной базе, основу которой составят БИС и СБИС. Постепенно будет происходить вытеснение привычных нам дискретных электрорадиоэлементов.

Широкое внедрение цифровой обработки сигналов во всех областях применения РЭС накладывает свой отпечаток на схемотехнические и конструктивные решения. Однако при этом не стоит думать, что общим вопросам проектирования будет уделяться меньшее внимание.

Прежде чем начать проектирование нового **изделия, потенциальный** пользователь или заказчик должен четко и грамотно сформулировать требования к изделию, указать особенности его эксплуатации и взаимодействия с другими техническими средствами. Все это возможно только при высокой профессиональной квалификации указанных лиц, подготовка которых начинается в стенах вузов и продолжается в течение всей их дальнейшей производственной деятельности.

Автор искренне надеется на то, что представленное учебное пособие поможет будущим инженерам-конструкторам РЭС приобрести основополагающие знания в области проектирования, а в дальнейшем стать высококлассными специалистами.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АПУ** - алфавитно-предметный указатель
БИС - большая интегральная схема
БНК - базовая несущая конструкция
ГСП - государственная система приборов
ЕСКД - единая система конструкторской документации
ИМС - интегральная микросхема
КД - конструкторская документация
КММ - комплексная микроминиатюризация
ММ - математическая модель
МСБ - микросборка
НИР - научно-исследовательская работа
РРКД - разработка рабочей конструкторской документации
РТС - радиотехническая система
РЭМ - радиоэлектронный модуль
РЭС - радиоэлектронные средства
САПР - система автоматизированного проектирования
СБИС - сверхбольшая интегральная схема
СВТ - средства вычислительной техники
СВЧ - сверхвысокочастотный
ОКР - опытно-конструкторская работа
ОП - объект проектирования
ПК - показатель качества
ПП - печатная плата
ПТ - проектирование техническое
ПЭВМ - персональная электронная вычислительная машина
ТЗ - техническое задание
ТО - техническое описание
ТП - техническое предложение
ТТЗ - тактико-техническое задание
ТУ - технические условия
ТЭЗ - типовой элемент замены
УНК - унифицированная несущая конструкция
ФЯ - функциональная ячейка
ЭП - эскизное проектирование
ЭРЭ - электрорадиоэлемент

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Учебники, учебная литература и справочники

1. Конструирование РЭС : учебник для вузов / Б. В. Пестряков и др. - М. : Радио и связь, 1992. - 432 с.
2. Ненашев, А. П. Конструирование радиоэлектронных средств : учебник для вузов по спец. «Конструирование и технология РЭС» / А. П. Ненашев. - М.: Высшая школа, 1990. - 431 с.
3. Высоцкий, Б.Ф. Введение в специальность конструктора РЭС : учебное пособие для вузов по спец. «Конструирование и технология РЭС» / Б. Ф. Высоцкий. - М. : Высшая школа, 1990. - 156 с.
4. Парфенов, Е. М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов по спец. «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» / Е. М. Парфенов. - М. : Радио и связь, 1989. - 271 с.
5. Гель, П. П. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры / П. П. Гель, Н. К. Иванов-Есипович. - Л. : Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
6. Шерстнев, В. В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА : учебник для вузов / В. В. Шерстнев. - М. : Радио и связь, 1984. - 272 с.
7. Варламов, Р. Г. Элементы художественного конструирования и технической эстетики: учебник для сред. спец. учеб. заведений / Р. Г. Варламов. - М. : Сов. радио, 1980. - 97 с.
8. Лутченков, Л. С. Автоматизированное проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств / Л. С. Лутченков. - М. : Радио и связь, 1991 - 204 с. - (Библиотека конструктора-технолога РЭА).
9. Поляков, К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры / К. П. Поляков. - М. : Радио и связь, 1982. - 240 с.
10. Базовый принцип конструирования РЭА / под ред. Е. М. Парфенова. - М.: Радио и связь, 1981 - 120 с. - (Библиотека конструктора).
11. Варламов, Р. Г. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры / Р. Г. Варламов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : Сов. радио, 1975. - 351 с.
12. Варламов Р. Г. Основы художественного конструирования радио- и электронной аппаратуры / Р. Г. Варламов. - М. : Сов. радио, 1967. - 243 с.
13. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА : справочник / под ред. Э. Т. Романычевой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989. - 448 с.

14. Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. - М. : Изд-во стандартов, 1989.- 325 с.

15. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры : справочное пособие / П. И. Освищер, И. И. Лившиц, А. К. Орчинский и др.; под ред. Высоцкого Б. Ф. и др. - М.: Радио и связь, 1982.- 208 с.

16. Справочник конструктора РЭА : Общие принципы конструирования / сост.: Л. Б. Андреева, Н. А. Барканов, А. С. Бегинин и др.; под ред. Р. Г. Варламова. - М.: Сов. радио, 1980.- 478 с.

Учебная литература внутривузовского издания

1. Бородин, С. М. Основы классификации радиоэлектронной аппаратуры : учеб. пособие для студ. специальности 200800 и направления 551100 «Проектирование и технология электронных средств» / С. М. Бородин. - Ульяновск : УлГТУ, 2003.- 48 с.

2. Основы проектирования электронной аппаратуры : метод. указ. по лаб. работам / И. В. Белова. - Ульяновск : УлГТУ, 2002. - 91 с.

3. Шляпников, Н. С. Конструирование РЭС : Учеб. пособие к практике-работе по дисциплине «Проектирование радиоэлектронных средств» направления 551100. / Н. С. Шляпников. - Ульяновск : УлГТУ, 2001. - 172 с.

4. Пилин, Ю. Г. Проектирование конструкций электронной аппаратуры : Метод. указания к курсовому проектированию для студ. направления 551100 / Ю. Г. Пилин. - Ульяновск : УлГТУ, 1996. - 24 с.

5. Пилин, Ю. Г. Проектирование конструкций электронной аппаратуры различного назначения : конспект лекций для студ. направления 551100 «Проектирование и технология электронной аппаратуры» / Ю. Г. Пилин. - Ульяновск : УлГТУ, 1996. - 84 с.

6. Пилин, Ю. Г. Проектирование конструкций электронной аппаратуры при дестабилизирующих факторах : конспект лекций для студ. направления 551100 «Проектирование и технология электронной аппаратуры» / Ю. Г. Пилин. - Ульяновск: УлГТУ, 1996. - 176 с.

7. Пилин, Ю. Г. Проектирование конструкций радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. специальности 200800 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» / Ю. Г. Пилин. - Ульяновск: УлГТУ, 1994. - 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Общие вопросы проектирования РЭС	4
1.1. Роль конструктора РЭС в современном аппаратостроении	4
1.2. Основные понятия и определения процесса проектирования	6
1.3. Конструктивная иерархия РЭС	11
1.4. Проблемы проектирования и оптимизации конструкций РЭС	13
1.5. Стандартизация и унификация конструкций РЭС	17
1.6. Технологичность конструкции	21
1.7. Основные этапы проектирования РЭС и их характеристика	25
1.7.1. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	25
1.7.2. Разработка технического задания	27
1.7.3. Техническое предложение	28
1.7.4. Эскизное проектирование	29
1.7.5. Техническое проектирование	30
1.7.6. Разработка рабочей конструкторской документации	31
2. Методы и принципы конструирования РЭС	34
2.1. Методы конструирования РЭС	34
2.1.1. Геометрический метод	37
2.1.2. Машиностроительный метод конструирования	41
2.1.3. Топологический метод	43
2.1.4. Метод моноконструкций	46
2.1.5. Функционально-узловой метод конструирования	48
2.2. Характеристика частных принципов компоновки	50
3. Реализация системного подхода при проектировании РЭС	53
4. Классификация РЭС	55
4.1. Классификация РЭС по среде обитания	55
4.2. Классификация РЭС по функциональному назначению	56
4.3. Классификация РЭС по сфере применения и режимам эксплуатации...	58
4.4. Классификация РЭС по степени защиты от внешних климатических воздействий	58
4.5. Основные требования к конструкциям РЭС различного назначения ...	60

5. Характеристика проектно-конструкторской документации	64
5.1. Общие положения ЕСКД	64
5.2. Классификация конструкторских документов	65
5.3. Виды конструкторских документов	67
5.4. Характеристика видов и типов схем	69
5.5. Характеристика классификатора промышленных изделий	70
5.6. Оформление проектно-конструкторских документов на различных этапах конструирования	73
6. Разработка технических требований к конструкции РЭС	75
6.1. Требования по назначению	76
6.2. Требования по надежности	78
6.3. Требования по безопасности жизнедеятельности	79
6.4. Эргономические и эстетические требования	80
6.5. Экономические, патентно-правовые требования и требования по стандартизации	82
7. Компоновка и типовые конструкции РЭС	85
7.1. Виды и задачи компоновочных работ	85
7.2. Особенности компоновки радиоэлектронных модулей второго уровня	88
7.3. Компоновочные схемы радиоэлектронных модулей третьего уровня...	91
7.4. Обобщенная методика компоновки блока	96
Заключение	98
Список сокращений	99
Библиографический список	100

Учебное издание
БОРОДИН Сергей Михайлович

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС
Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова
Подписано в печать 28.12.2007. Формат 60x84/16.
Бумага тип. №1. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 6,05. Тираж 130 экз.
Заказ 43.

Ульяновский государственный технический университет
432027, г.Ульяновск, ул. Сев. Венец, д.32.

Типография УлГТУ, 432027, г.Ульяновск, ул. Сев. Венец, д.32