

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

А.В. Башкиров, О.Н. Чирков

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2015

Башкиров А.В., Учебно-методический комплекс дисциплины «Основы конструирования электронных средств»: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (2.7 Мб) / А.В. Башкиров, Чирков О.Н. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв. – Систем. требования : ПК 500 и выше ; 256 Мб ОЗУ ; Windows XP ; SVGA с разрешением 1024x768 ; Adobe Acrobat ; CD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии представлен весь комплекс информации, необходимый для освоения профессиональных компетенций по курсу «Основы конструирования электронных средств», включая теоретические данные, практические занятия, лабораторный практикум и контрольные вопросы по всем разделам курса.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»), дисциплине «Основы конструирования электронных средств».

Табл. 11 Ил. 14. Библиогр.: 6 назв.

Рецензенты: кафедра основ радиотехники и электроники
Воронежского института ФСИН (нач. кафедры
канд. техн. наук, доц. Р.Н. Андреев)
канд. техн. наук, доц. А.В. Турецкий

© Башкиров А.В., 2015
© Оформление. ФГБОУ ВПО
«Воронежский государственный
технический университет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции развития конструкций ЭС

Развитие конструкций ЭС, как известно, прошло уже четыре этапа. Смена каждого поколения обуславливалась сменой элементной базы, в основном активных компонентов РЭУ и, как следствие, сменой метода и правил компоновки и монтажа.

Первое поколение ЭС базировалось на ламповой технике и блочном методе компоновки и монтажа. Появление отечественных ламп относится к 1919 г. (Нижегородская лаборатория под руководством М.А.Бонч-Бруевича), а начало радиовещания в СССР - к 1924 г.

Ламповая техника непрерывно изменялась: лампы стеклянной и металлической серии, пальчиковые лампы, лампы серии «дробь» и «жёлудь». Блочный метод компоновки и монтажа заключается в выполнении конструкций крупных частей схемы в виде моноблоков, чаще всего без кожухов, komponуемых в стойках и фермах и коммутируемых как внутри себя, так и между собой проволочно-жгутовым монтажом.

С усложнением ЭС появились требования крупносерийного производства, дробления конструкций на основе унифицированных функциональных узлов (УФУ). Такими первыми УФУ явились «Элемент-1» на печатном монтаже и лампах типа «дробь». Метод компоновки от блочного перешёл к функционально-узловому.

К 1954 г. появилось II поколения конструкций ЭС – промышленная транзисторная техника (изобретение транзистора относится к 1948 г.). Миниатюрные лампы были заменены на транзисторы в корпусах ТО-5, а УФУ «Элемент-1» - на УФУ «Элемент-2». Функционально-узловой метод стал доминировать во многих конструкциях ЭС.

В период транзисторной техники возникло новое направление в конструировании ЭС – миниатюризация

аппаратуры. Уменьшились размеры и масса пассивных ЭРЭ, транзисторов и трансформаторов, катушек индуктивности и даже электронно-лучевых трубок. Функциональные узлы стали выпускаться в виде плоских и объёмных модулей, плоских и этажерочных микромодулей. Однако при сохранении за дискретными ЭРЭ основного конструктивного элемента с частотой отказов $\lambda = 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ не смогло существенно повлиять на надёжность ЭС, и при всё более увеличивающейся их сложности вероятность безотказной работы падала. Это противоречие было разрешено с появлением интегральных микросхем (начало 60-х годов).

Третье поколение ЭС характеризуется применением новой элементной базы – корпусированных ИС широкого применения и миниатюрными ЭРЭ на печатных платах с высокой разрешающей способностью (до 0,3 мм). Микросхемы, по своей функциональной сложности представляющие функциональные узлы, выпускались в те годы в металлических, пластмассовых и металлокерамических корпусах прямоугольной и круглой формы со штыревыми и плоскими выводами. Число выводов не превышало 15. Микросхемы в количестве 20...30 штук компоновались на печатных платах со средними размерами 140×170мм, выводная коммутация которых осуществлялась стандартными разъёмами. Такая конструкция, наиболее характерная для цифровых устройств, получила название вначале субблока, а позднее – функциональной ячейки.

Ячейки ЭВМ, выполненные по принципу базовых несущих конструкций, называют типовыми элементами замены.

Применение микросхем, изготовление которых основано на групповых методах получения целого набора элементов на подложке или в объёме кристалла, позволяет резко повысить надёжность. Так, частота отказов одной ИС, содержащей порядка 100 элементов, равна частоте отказов всего лишь одного дискретного ЭРЭ, т.е. $\lambda_{ис} = \lambda_{эрэ} = 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Таким образом, достижения в области микроэлектроники и её промышленного внедрения позволили перейти к созданию нового поколения конструкций ЭС – к интегральным электронным устройствам. Интегральные электронные устройства отличаются малыми массой и габаритами, высокой надёжностью, пониженным потреблением энергии, меньшей стоимостью, групповой автоматизированной технологией изготовления компонентов и устройств, применением САПР при конструировании и подготовке производства. Интегральные ЭУ проектируются на новых принципах схемотехники – микросхемотехники, в основе которой заложена микроэлектроника.

Далее миниатюризация шла по пути отказов от индивидуальных корпусов ИС и внедрения более крупных подложек вместо печатных плат. Так появилась конструкция ЭС IV поколения, которая использовалась в основном в космической и ракетной технике.

К достоинствам конструкций IV поколения следует отнести уменьшение массы (в 3-4 раза) и объёма (в 5-6 раз) моноблоков, более высокую надёжность за счёт исключения стандартных разъёмов и замены их на гибкие шлейфы, а также сокращения числа паяных соединений (исключение выводов из корпусов), повышение вибро- и ударопрочности. К недостаткам и трудностям в развитии IV поколения конструкций ЭС относятся повышенная теплонапряжённость в блоках и необходимость введения дополнительных теплоотводов (металлических рамок), незащищённость бескорпусных элементов и компонентов МСБ от факторов внешней среды и необходимость полной герметизации корпусов блоков с созданием инертной газовой среды внутри них, более высокая стоимость за счёт сложного и дефицитного технологического оборудования, более длительные сроки разработки из-за необходимости разработки самих МСБ, как изделий частного применения, недостаточное количество специалистов этого профиля (как инженеров, так и технического персонала). Однако разработчикам удаётся

значительно улучшить не только качественные энергоинформационные параметры ЭС, но и в ряде случаев тактико-технические характеристики объекта. Появление новой элементной базы (функциональных компонентов, микрокорпусов ИС), новых несущих оснований (печатных плат из новых материалов с высокой разрешающей способностью до 0,1 мм и без металлизированных отверстий), новых способов сборки и монтажа (групповой автоматизированной сборки и пайки), новых принципов компоновки устройств из суперкомпонентов (интеграции на целой пластине) привело к созданию ЭС ещё более компактных, надёжных и с меньшей стоимостью, чем известные прототипы. Конструкции таких устройств, выполненные по принципам монтажа на поверхность и интеграции на целой пластине, можно отнести к пятому поколению.

Терминология электронных средств

Электронные средства включают в себя радиоэлектронные средства и электронно-вычислительные средства.

Радиоэлектронные средства - основаны на принципе радиоэлектроники, осуществляющие функции преобразования электрических сигналов, несущих информацию с использованием электромагнитной энергии в пространстве и в электронных линиях связи.

Электронно-вычислительные средства основаны на принципе электроники, используют в основном цифровую обработку сигналов, но могут содержать в своем составе и аналоговую часть.

Конструкция - состав и взаимное расположение частей какого-нибудь строения, сооружения, механизма, а также само строение, сооружение, машина с таким устройством.

Конструирование - процесс выбора структуры пространственных и энергетических взаимосвязей элементов и

связей с окружающей средой и объектами, выбора материалов этих элементов и связей, обработки и установления на них таких норм, пользуясь которыми можно изготовить изделие, отвечающее заданным требованиям.

Конструирование ЭС - творчество, процесс создания новых конструкций радиоэлектронных средств, конечным результатом которого является комплект конструкторских документов для промышленного изготовления изделия.

Поскольку современный этап конструирования ЭС связан с широким внедрением микроэлектроники, с появлением новых форм и качественных характеристик микроэлектронной аппаратуры (МЭА) и ее субъектов, то появились новые термины, которые используются для описания этих новых конструкций.

Микросборка - микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию и состоящее из элементов, компонентов и (или) микросхем (ИС) и других радиоэлементов в различных сочетаниях, разрабатываемое и изготавливаемое разработчиками конкретных РЭС для улучшения показателей их миниатюризации. Таким образом, микросборка (МСБ) является изделием, годным при постановке в конкретном РЭС, но не годным при поставке. Чаще всего микросборки выполняются в виде больших гибридных интегральных схем (БГИС). Они могут быть корпусированными и бескорпусными.

Элемент МСБ – неделимая часть микросборки, которую нельзя специфицировать и поставлять как отдельное изделие. Элементами МСБ являются плёночные резисторы, катушки и конденсаторы, выполненные по той или иной технологии на подложке БГИС.

Компонент МСБ - часть микросборки, которая специфицируется и может поставляться как отдельное изделие. Компонентами МСБ являются бескорпусные транзисторы, диоды, миниатюрные конденсаторы без проволочных выводов, тороидальные катушки индуктивности,

каждый из которых имеет свою особую, с общей спецификой конструкцию, или конструктив.

Конструктив РЭС - типовая разновидность конструкции того или иного уровня сложности аппаратуры, определяемая характерными элементной базой и способом компоновки. Примерами конструктивов разного уровня могут быть бескорпусная МСБ, функциональная ячейка III поколения, блок МЭА IV поколения.

Блок – автономно законченная конструкция ЭС, характеризующаяся системой выходных параметров и имеющая общий кожух, панель – основание и элементы как электрической, так и механической стыковки с другими блоками. Функциональная сложность блока зависит от его элементного базиса.

Вводя такое определение блока, мы можем с более общих позиций подходить к рассмотрению вопросов компоновки, тепловых режимов, вибропрочности и других, то есть применять те или иные методики конструкторских расчётов, не ограничивая их существенно диапазоном весов и объёмов.

Субблок – часть блока, выполняющая функцию его отдельного тракта, например тракта УПЧ.

Функциональный узел (ФУ) – конструктивно и функционально законченная часть блока, характеризующаяся определёнными выходными параметрами и собираемая из нескольких радиодеталей. Примерами ФУ могут являться корпусированные ИС, бескорпусные ГИС (МСБ), микромодули, модули на печатном монтаже.

Объединения нескольких ФУ на общем основании (металлической рамке, печатной плате), но не в общем кожухе с лицевой панелью, будем называть в конструктивном отношении *функциональной ячейкой (ФЯ)*.

В вычислительных машинах и других устройствах с цифровой обработкой сигнала функциональный узел, выполненный на базовой несущей конструкции (БНК), называется *типовым элементом замены (ТЭЗ)*.

Основная целевая функция любой конструкции ЭС состоит в преобразовании или генерировании электрических сигналов, несущих сообщение.

К частным целевым функциям относят те, без которых невыполнимо выполнение основной целевой функции. Например, основная целевая функция радиоприёмника заключается в выделении из множества сигналов на его входе желаемого и получения на выходе требуемого уровня энергии полезного сигнала. Для этого элементы конструкции должны выполнять частные целевые функции: селекцию, преобразование, усиление, детектирование и т. п.

Параметры, которые определяют меру функции, для которой предназначена конструкция, называют *выходными параметрами*.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Семе стр	Недел я семес тра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Процесс конструкторского проектирования электронных средств	7	1-5	10	6	6	24	
2	Принципы разукрупнения ЭС	7	6-9	8	4	2	12	
3	Электромагнитная совместимость и защита от внешних воздействий. Надежность ЭС	7	10-13	8	4	6	36	
4	Особенности конструирования ЭС различного назначения	7	14-18	10	4	4	36	
Итого				36	18	18	108	180

Лекции

Недел я семес тра	Тема и содержание лекции	Объе м часо в	В том числе, в интеракт ивной форме (ИФ)
7 семестр		36	4
Процесс конструкторского проектирования электронных средств		10	
1	Предметы и задачи курса. Основные принципы проектирования электронных средств	2	
2	Конструкторская документация	2	
3	Этапы проектирования. Электрические схемы	2	
4	Методология конструирования. Микроминиатюризация и стандартизация ЭС	2	
5	Конструирование печатного монтажа	2	
Принципы разукрупнения ЭС		8	2
6	Разделение ЭС на части	2	
7	Компоновка. Виды компоновки	2	
8	Компоновка блоков, шкафов, стоек. Конструирование компактных соединений	2	
9	Конструирование межблочных соединений	2	
Электромагнитная совместимость и защита от внешних воздействий. Надежность ЭС		8	
10	Электромагнитная совместимость в ЭС	2	
11	Защита ЭС от тепловых воздействий	2	
12	Защита ЭС от воздействий	2	

	окружающей среды		
13	Способы защиты от механических воздействий	2	
Особенности конструирования ЭС различного назначения		10	2
14	Эксплуатационная надежность ЭС различного назначения	2	
15	Конструирование наземных стационарных ЭС	2	
16	Конструирование подвижных наземных ЭС	2	
17	Конструирование бортовых ЭС	2	
18	Конструирование морских ЭС	2	
	Итого	36	4

Практические занятия

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
7 семестр		18	9	
Процесс конструкторского проектирования электронных средств		6	3	
2	Вводное занятие. Входной контроль	2		
3-4	Расчет радиатора полупроводникового прибора или микросхемы	2		
5-6	Трассировка схемы электрической принципиальной, с использованием критериев оптимальности: минимальная длина всех электрических соединений, минимальное число всех пересечений	2		Отчет

	трасс			
Принципы разукрупнения ЭС		4	2	
7-8	Расчет допустимой длины проводников печатной платы.	2		
9-10	Размещение электродиодов на двухсторонней печатной плате	2		Отчет
Электромагнитная совместимость и защита от внешних воздействий. Надежность ЭС		4	2	
11-12	Расчет надежности блока ЭС по внезапным отказам	2		
13-14	Тепловой расчет ЭС в герметичном блоке	2		
Особенности конструирования ЭС различного назначения		4	2	
15-16	Нанесение размеров и предельных отклонений на чертеже печатной платы	2		
17-18	Выбор и обоснование материалов и покупных изделий, оформление спецификации по ЕСТП	2		Отчет
Итого часов		18	9	

4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	В том числе в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
7 семестр		18	9	
Процесс конструкторского проектирования электронных средств		6	3	
2-	Инструктаж по технике	6	3	защ

6	безопасности. Выполнение лабораторной работы №1 на тему «Конструирование функциональных узлов на печатной плате»			ита отч ета
Принципы разукрупнения ЭС		2	1	
7- 8	Компоновка элементов и блоков ЭС	2	1	защ ита отч ета
Электромагнитная совместимость и защита от внешних воздействий. Надежность ЭС		6	3	
9- 14	Расчет надежности, теплового режима и механических воздействий блоков ЭС на ЭВМ	6	3	защ ита отч ета
Особенности конструирования ЭС различного назначения		4	2	
15 - 18	Оформление комплекта конструкторской документации	4	2	
Итого часов		18	9	

Самостоятельная работа студента (СРС)

Неде ля семес тра	Содержание СРС	Виды контроля	Объ ем часо в
7 семестр			108
1	Самостоятельное изучение вопросов	Устный опрос, проверка	6

	История развития конструкций современных ЭС. Как решаются проблемы микроминиатюризации, теплоотвода, защиты от внешних воздействий.	конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене	
2	Самостоятельное изучение вопросов Чертежи, входящие в полный комплект и комплекс конструкторской документации. Правила оформления чертежей и расчетно-пояснительной записки согласно ГОСТ Подготовка к лаб.работе №1	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене	6
3	Самостоятельное изучение вопросов Анализ параметров, входящих в состав технического предложения и технического задания. Вопросы согласования технического задания с заказчиком, зависимость параметров от возможностей конкретного производства. Доработка и оформление	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6

	лаб.работы №1		
4	Самостоятельное изучение вопросов Анализ этапов конструирования. Виды компоновки: номографическая, аналитическая, аппликационная, модельная, графическая. Подготовка к защите лаб.работы №1	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
5	Самостоятельное изучение вопросов Существующие ограничения плотности печатного монтажа. Допуски и отклонения печатного рисунка на плате. Подготовка к защите лаб.работы №1	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
6	Самостоятельное изучение вопросов Иерархия структуры современных ЭС. Сквозное проектирование и разукрупнение сложных ЭС на части при различных видах конструирования. Подготовка к лаб.работе №2	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене	6
7	Самостоятельное изучение вопросов	Устный опрос, проверка	6

	Компоновка на печатной плате. Критерии оптимизации при компоновке. Доработка и оформление лаб. работы №2	конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб. работе	
8	Самостоятельное изучение вопросов Компоновка модулей, блоков, стоек. Виды компоновки. Подготовка к защите лаб. работы №2	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб. работе	6
9	Самостоятельное изучение вопросов Виды паразитных связей в ЭС. Виды экранов. Внешние и внутренние электромагнитные помехи. Виды компенсационных схем и фильтров. Подготовка к защите лаб. работы №2	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб. работе	6
10	Самостоятельное изучение вопросов Сложный теплообмен. Виды теплоотводов. Эффект Пельтье. Подготовка к лаб. работе №3	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные	6

		вопросы на экзамене	
11	Самостоятельное изучение вопросов Особенности конструирования носимой радиоаппаратуры. Виды герметизации ЭС. Доработка и оформление лаб.работы №3	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
12	Самостоятельное изучение вопросов Активные и пассивные методы защиты ЭС от механических воздействий. Подготовка к защите лаб.работы №3	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
13	Самостоятельное изучение вопросов Долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, безотказность как свойства ЭС. Способы повышения надежности ЭС за счет контактных явлений. Подготовка к защите лаб.работы №3	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
14	Самостоятельное изучение вопросов	Устный опрос, проверка	6

	Требования к размещению и эргономике при проектировании наземных, стационарных ЭС. Подготовка к лаб.работе №4	конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене	
15	Самостоятельное изучение вопросов Способы виброзащиты и компоновки модулей при проектированных подвижной наземных ЭС. Доработка и оформление лаб.работы №4	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
16	Самостоятельное изучение вопросов Особенности конструирования бортовых ЭС, защита от перепада давлений и температур. Подготовка к защите лаб.работы №4	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по лаб.работе	6
17	Самостоятельное изучение вопросов Воздействие соленого морского воздуха, влаги и обледенения на морские ЭС. Подготовка к защите лаб.работы №4	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, отчет по	6

		лаб.работе	
18	Самостоятельное изучение вопросов Патентная чистота разработки, виды защиты авторского права в области электроники. Международные формы защиты авторского права и патентования. Подготовка к сдаче итогового отчета по лаб.работам	Устный опрос, проверка конспектов, написание реферата или доклада, дополнительные вопросы на экзамене, итоговый отчет по лаб.работам	6
Итого			108

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:
5.1	Лекции: – информационные лекции; – проблемные лекции.
5.2	Лабораторные работы: – проблемное обучение; – оформление отчета по выполненной работе и его защита .
5.3	Самостоятельная работа студентов: – изучение теоретического материала; – подготовка к лекциям; – работа с учебно-методической и научной литературой; – оформление конспектов лекций, подготовка реферата, доклада, отчетов и курсовой работы; – подготовка к текущему контролю успеваемости, защите курсовой работы и экзамену.
5.4	консультации по всем вопросам учебной программы.

КУРС ЛЕКЦИЙ

1 СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Рассматриваемые вопросы:

- 1 Конструкция ЭС как система.
- 2 Свойства конструкций ЭС.
- 3 Структурные уровни.
- 4 Классификация электронных средств.

1.1 Конструкция ЭС как система

Понятие “система“ в технике означает сложную совокупность объектов и связей между ними, предназначенную для реализации заданных функций. Как любая сложная сборочная единица машиностроения или приборостроения, конструкция ЭС отвечает трём главным условиям совместимости: возможности композиции и декомпозиции, образованию при композиции новых качеств, не равных сумме свойств исходных частей, наличию иерархического порядка в структуре. Первые два условия системности означают, что в результате процесса конструирования (композиции) должно быть найдено и отражено в конструкторской документации новое структурное образование – конструкция ЭС (или их частей), составленное из входящих в него готовых (покупных) и вновь спроектированных частей, причём это структурное образование должно обладать новыми качествами, не равными сумме свойств входящих в него частей.

Третье условие системности (иерархический порядок) проявляется в разделении конструкции на структурные уровни, или уровни входимости. Это значит, что высокий уровень структуры конструкции составляется из частей её, относящихся к более низким уровням, или в терминах

конструкторской документации (КД): составная часть, относящаяся к более низкому уровню входимости, входит в спецификацию части более высокого структурного уровня.

1.2 Свойства конструкций ЭС

Каждая конструкция характеризуется определённой системой свойств, по которым возможно качественное или количественное сравнение конструкций.

Количественные оценки свойств конструкции называют параметрами конструкции (Y).

Качественно свойства конструкции отображаются её структурой (S), которая определяется схемой внутренних и внешних связей. Последние могут быть следующих типов:

- геометрические,
- механические,
- электрические,
- магнитные,
- тепловые и т.п.

Одни и те же свойства конструкции могут быть получены в результате реализации различных структур.

Для представления абстрактной модели конструкции ЭС может быть использован аппарат теории множеств.

Если обозначить

множество структур через $S = \{S_i, i = 1, 2, \dots, n\}$;

множество параметров $Y = \{Y_j, j = 1, 2, \dots, m\}$; и

множество взаимодействий $X = \{X_k, k = 1, 2, \dots, l\}$;

то абстрактная модель выразится как

$$K = S \cap Y$$

где $\cap$ - символ пересечения множеств S и Y ,

$S_i = S(S_1, S_2, \dots, S_n; y_1, y_2, \dots, y_m; x_1, x_2, \dots, x_l, t)$;

Y_j - выражается аналогично.

Иначе говоря, как сами некоторые структуры, так и их параметры, а в общем это свойства конструкции К, являются функциями большого числа факторов, связанных с внешними воздействиями, параметрами элементов и схемами связей между ними и внешней средой; причём многие из этих факторов взаимозависимы и часто при анализе модели неизвестны.

Выводы:

1. Формализация процесса конструирования с математической точки зрения является плохо формулируемой задачей.

2. Для конструирования ЭС в целом сейчас нельзя установить алгоритм этого процесса, пригодный для ЭВМ.

3. Для частных формализуемых задач конструирования (выбора номиналов, допусков, оптимального размещения и трассировки и т.п.) применение алгоритмов не только возможно, но и необходимо в конструкторской практике.

4. Процесс конструирования сводится в настоящее время к логико-математическому поиску оптимума при последовательном усовершенствовании исходного варианта, получаемого на основе преемственности и требований ТЗ.

Для практических целей были разработаны 36 кодифицированных свойств конструкций ЭС, объединённых в пять групп (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Функциональная внутренняя связь	Совместимость	Надёжность	Технологичность	Патентность
Электрическая (включая допусковые вопросы)	С объектом: _пространственная, весовая, электрическая,	Безотказность при воздействии: вибрации, ударов, линейных ускорений, тепла, тепловых ударов, холода, влаги, брызг,	Унификация и стандартизация	Патентно-способность
Электромаг-			Преемственность	Патентная чис-

нитная	электро- магнит- ная	воды, химической среды, плесени, пыли, песка, радиации, давления	Однородность комплектации	тота.
Тепловая				
Пространст- венная (включая расположе- ние центра тяжести)	С опера- тором эргоно- мическая, эстетиче- ская	Долговечность Сохраняемость Ремонтнопригод- ность Количество ЗиП	Собираемость и стыковка По деталям и узлам собст- венного про- изводства По материалам	
Механиче- ская (вклю- чая распо- ложение центра жёст- кости)				

Как видно из таблицы, эти группы свойств конструкции ЭС отражают собственно те *группы требований* к конструкции, которые предъявляются её создателями – разработчиками и изготовителями и её потребителями, а именно:

- техническими требованиями,
- производственно – технологическими,
- эксплуатационными,
- юридическими.

Первая группа требований определяется электрическими и механическими выходными параметрами такими как, например, чувствительность приёмника, выходная мощность передатчика, быстродействие ЭВМ, диапазон рабочих частот, вес, габариты и т.п., а также степенью устойчивой работы ЭС в условиях электромагнитных наводок и внутренних перегревов.

Вторая группа отражает в основном требования технологичности, серийноспособности и экономичности ЭС.

Третья группа требований включает в себя вопросы обеспечения надёжности, ремонтнопригодности, готовности ЭС, а также вопросы эргономики и технической эстетики.

Причём требование надёжности может, в свою очередь, быть раскрыто более полно, как требования обеспечения вибро-и ударопрочности, виброустойчивости, температурной стабильности, влагозащищённости, герметичности и т.д.

В таблице свойства конструкции, обеспечение которых удовлетворяют первой группе требований, подчеркнуты сплошной линией, второй группе – пунктиром и третьей – штрих-пунктиром.

Юридические требования вполне однозначно определяются патентными свойствами.

1.3 Структурные уровни

Структурное дробление конструкции даёт экономические преимущества при разработке, производстве и эксплуатации ЭС и преследует три цели:

- 1) параллельное конструирование частей;
- 2) параллельное изготовление частей;
- 3) повышение ремонтопригодности.

Параллельное конструирование частей, входящих в конструкцию, значительно ускоряет процесс конструирования. Оно возможно благодаря выполнению условий размерной совместимости, предусматривающей взаимное назначение для сопрягаемых частей габаритных и присоединительных размеров, а также совмещаемых электрических параметров в пределах предусмотренных допусков. Параллельное изготовление частей, входящих в различные структурные уровни, идёт по независимым производственным циклам, соприкасающимся только при сборке конструкции. Это ускоряет производство в десятки раз. Ремонтопригодность при эксплуатации повышается благодаря упрощению поиска неисправностей и возможности ремонта агрегатным способом, т.е. путём замены крупных частей. В дальнейшем возможен ремонт этих частей.

Каждая конструкция ЭС в зависимости от назначения имеет свою, присущую ей конкретную структуру. Однако

требования стандартизации налагают ограничительные рамки на это разнообразие. Можно представить некоторую обобщённую таковую структуру и на её основе рассмотреть в общем виде основные структурные особенности, справедливые в принципе для всех конструкций.

Типовая структура конструкции современных ЭС состоит из электрической базы как исходного функционального материала и четырёх уровней, от нулевого до третьего, из которых нулевой и первый называются низшими, а второй и третий – высшими. Элементная база состоит из электрорадиоизделий (ЭРИ), входящих в перечень элементов электрической принципиальной схемы ЭС (или частей) как комплектующие изделия. ЭРИ включают в себя следующие классы:

- 1) электрорадиоэлементы (ЭРЭ) – дискретные резисторы, конденсаторы, кварцевые фильтры и т.п., моточные изделия (трансформаторы, дроссели, катушки индуктивности, электромагнитные линии задержки и др.) ;
- 2) электровакуумные изделия (ЭВИ) – радиолампы, электронно-лучевые приборы, электрические световые табло и т.п.;
- 3) полупроводниковые приборы (ППП) – транзисторы, тиристоры и т.д.;
- 4) интегральные схемы (ИС) ;
- 5) изделия электропривода и автоматизации (ИЭПА);
- 6) контрольно-измерительные приборы (КИП);
- 7) коммутационные изделия (КИ);
- 8) микропроцессорные компоненты (МПК);
- 9) волоконно – оптические кабели с соединителями (ВОКС).

Элементная база – ещё не конструкция ЭС. Конструкция начинается с функционального узла. Функциональный узел представляет собой первичное структурное образование и относится к нулевому структурному уровню. Существуют три разновидности

функциональных узлов: микросборки, печатные узлы и гибридно-интегральные узлы.

Микросборки относят к подуровню нулевого уровня структуры РЭС. Они входят в состав печатных узлов (корпусные микросборки) и гибридно-интегральных узлов (бескорпусные микросборки).

Как показано, схема структуры ЭС имеет две параллельные ветви: по печатному (левая часть схемы) и гибридно-интегральному исполнению узлов (правая часть). В современных ЭС находят применение оба конструктивно-технологические исполнения.

Первый уровень состоит из модулей, второй из блоков, а третий представляет собой окончательно оформленную конструкцию РЭС в целом, т.е. самостоятельное в эксплуатационном отношении изделие в виде сборочной единицы.

В зависимости от сложности конструкции ЭС различают *комплексы, системы, радиоэлектронные устройства (РЭУ), блоки, функциональные узлы (ФУ), детали*. Такое деление отличается от положениями ЕСТД (комплексы-сборочные единицы-детали); однако на практике оно наиболее распространено.

1.4 Классификация электронных средств

Классификация ЭС по отдельным признакам, например назначению, объекту установки и условиям эксплуатации определена давно и достаточно строго, а по функционально конструктивным признакам опять – таки в разных источниках многовариантна. Можно привести много примеров, где одним и тем же термином обозначаются совершенно разные по своим функциям и конструктивной сложности изделия: полупроводниковый прибор (транзистор) и измерительный прибор (вольтметр ламповый); импульсное устройство (триггер) – радиоприёмное устройство (транзисторный приёмник); блок конденсаторов переменной ёмкости – блок

индикатора кругового обзора и т.д. Поэтому остановимся на видах классификации ЭС по следующим признакам:

- по функциональной сложности, т.е. по числу и рангу функций, выполняемых изделием;
- конструктивной сложности, определяемой числом элементов конструкции и числом соединений между ними, выбранной элементной базой и способом компоновки;
- назначению;
- объекту установки;
- виду сигнала и диапазону частот.

По *функциональной сложности* деление, например ЭС может быть представлено в виде следующей цепочки (сверху вниз): радиотехническая система – комплекс радиоэлектронных устройств – радиоэлектронное устройство (РЭУ) – блок – субблок – функциональный узел.

Радиотехническая система представляет собой совокупность сигналов в пространстве, операторов и радиоэлектронной аппаратуры, размещённых на объектах в определённых точках на поверхности или в пространстве, действующих в условиях помех и внешних возмущений, *) например, система посадки самолёта.

Комплекс радиоэлектронных устройств – совокупность РЭУ, объединённых, как правило, на одном объекте и являющихся законченной частью, например наземный и бортовой комплекс радиосвязи самолёта с землёй.

Радиоэлектронное устройство - часть комплекса, решающая основную целевую функцию, функционально и конструктивно законченная и, главное, автономно эксплуатируемая, например телевизионный приёмник с антенной.

Определение блока, субблока, функционального узла смотри в разделе терминологии ЭС.

*) Пестряков В. Б. Конструирование РЭА. – М.: Сов.радио, 1969.

По конструктивной сложности, определяемой выражением:

$$C = k_1(k_2N + k_3M), \quad (1.1)$$

где k_1 – масштабный (нормирующий) коэффициент относительно конструкции прототипа;

k_2, k_3 – весовые коэффициенты, учитывающие вероятности отказов элементов и соединений;

N, M – число схемных элементов и соединений между ними, соответственно электронные средства, подразделяют на много – и моноблочные конструкции, функциональные ячейки, микросборки, микросхемы и функциональные компоненты.

Многоблочные конструкции выполняют в виде шкафов, стоек, пультов, моноблочные – виде контейнеров или отдельных корпусированных приборов, функциональные ячейки – в виде сборок ЭРЭ и корпусированных ИС на печатных платах или сборок из МСБ на металлических рамках. Микросхемы и функциональные компоненты (оптроны, интегральные пьезофильтры, фильтры ПАВ, джозефсоновские приборы, приборы на ПЗС и ЦМД и др.) часто корпусируются и представляют собой изделия электронной техники, выпускаемые для широкого применения Минэлектронприбором. В совокупности они образуют элементную базу современных ЭС.

По назначению ЭС делят на средства:

- радиовещания и телевидения;
- радиоуправления и телеметрии;
- радиоастрономии;
- радиоизмерительные;
- обработки данных и информации;
- записи и воспроизведения;
- медицинские и промышленные ЭС.

По объекту установки они классифицируются на три основных категории, в каждой из которых существуют группы, а именно бортовые (самолётные, космические, ракетные), наземные (возимые, носимые, переносные, бытовые, стационарные) и морские (судовые, буйковые).

По виду сигнала и диапазону частот они могут быть аналоговыми, цифровыми и СВЧ.

В заключение отметим, что ЭС, а в частности РЭС может принимать различные конструктивные формы в зависимости от его функциональной сложности и системы интеграции используемых в нём ИС. Например, при высокой степени интеграции и соответствующей функциональной сложности (свыше 10000 элементов) устройство может быть заключено в один объём, имеющий форму моноблока, ячейки, микросборки и даже одного кристалла. При недостаточной степени интеграции формообразование радиоустройств идёт по пути создания многоблочной конструкции. Это положение отражает табл. 1.2, в которой показана зависимость формообразования конструкций РЭС от степени интеграции микросхем.

Таблица 1.2

Ранг функциональной сложности РЭС	Форма конструктивного исполнения при количестве элементов в ИС			
	не более 100	100...1000	1000 - 10000	более 10000
Устройство	Многоблочная конструкция	Моноблок или ФЯ	МСБ	**СБИС
Блок	Моноблок	МСБ	БИС	—
Субблок	Функциональная ячейка	*БИС	—	—
Функциональный узел	ИС, гибридная ИС, функциональный компонент	—	—	—

*БИС – большая интегральная схема,

**СБИС – сверхбольшая интегральная схема.

В приведённой выше таблице можно указать конкретные виды конструктивов: многоблочная конструкция – ЭВМ ЕС 1045, моноблок – микрокалькулятор на печатной плате ”Электроника МК36”, МСБ – микрокалькулятор на стеклянной подложке с кристаллодержателями серии К145 ”Электроника БЗ – 04”, СБИС – однокристалльная ЭКВМ специзделия.

Контрольные вопросы.

1. Что понимается под электронными средствами?
2. В чём разница понятий “радиоэлектронные средства” и “электронные средства”?
3. Дайте понятие конструированию ЭС.
3. Каким трём главным условиям системности должны отвечать ЭС?
4. Что характеризует структура конструкции ЭС? Чем она определяется?
5. Как можно представить абстрактную модель конструкции ЭС?
6. Почему формализация процесса конструирования ЭС с математической точки зрения является плохо формулируемой задачей?
7. Каковы разновидности функциональной внутренней связи конструкции?
8. С какими составными частями в системе должна быть согласована конструкция ЭС?
9. Назовите показатели надёжности ЭС.
10. Какими свойствами определяют технологичность?
11. Какими свойствами определяются юридические требования к конструкции ЭС?
12. Каковы цели структурного дробления конструкции?
13. Достоинства и недостатки разукрупнения конструкции.

14. Приведите типовую структуру конструкции современных ЭС.
15. Назовите состав элементной базы ЭС.
16. Приведите иерархическую соподчинённость составных частей конструкции ЭС согласно требованиям ЕСКД.

2 ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Рассматриваемые вопросы:

- 2.1. Факторы окружающей среды.
- 2.2. Системные факторы, определяющие построение электронных средств.
- 2.3. Факторы, определяющие компоновку РЭА.
- 2.4. Факторы взаимодействия в системе «человек-машина».
- 2.5. Человеко-машинные системы, их классификация и свойства
- 2.6. Психологические характеристики и параметры человека-оператора
- 2.7. Рабочая зона оператора.
- 2.8. Форма рабочих зон
- 2.9. Размещение органов управления
- 2.10. Размещение средств отображения
- 2.11. Выбор типа индикаторных приборов
- 2.12. Рекомендации по изготовлению лицевой панели

2.1 Факторы окружающей среды

К основным факторам внешней среды, воздействующим на РЭА, можно отнести:

- 1) температуру,
- 2) влажность,
- 3) давление,
- 4) пыль, песок,

- 5) фоновые излучения, включая солнечную радиацию,
- 6) биологическую среду.

Влияние этих факторов может быть значительным, в особенности, если они проявляются совместно. По степени влияния этих факторов на РЭА различают следующие группы условий эксплуатации:

Л – легкие ($t^0 \approx +20^0C$, влажность $\leq 80\%$, $p \approx 760$ мм рт. ст., нет воздействия пыли, песка, излучений и биологической среды); они характерны для закрытых, отапливаемых и вентилируемых помещений.

С – среднее ($t^0 = -50 \div +70^0C$, влажность периодически достигает 98%, воздействие пыли, песка, биологической среды); они характерны для наземной, полевой и передвижной аппаратуры.

Ж – жесткие ($t^0 = -80 \div +100^0C$, влажность $\leq 98\%$, давление до 5 мм рт. ст., воздействие пыли, песка, фонового излучения среды среднего уровня); они характерны для авиационной РЭА.

ОЖ – особо жесткие ($t^0 = -100 \div +250^0C$, влажность до 100%, давление до $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., воздействие сильных фоновых излучений, пыли, песка); они характерны для ракетной РЭА.

Кроме отраслевых стандартов климатические воздействия определяются в соответствии с ГОСТ 15150-69 – «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов». Согласно этого ГОСТ вся поверхность Земли разбивается на 6 климатических регионов:

- У – умеренный климат;
- ХЛ – холодный климат;
- ТВ – влажный тропический климат;
- ТС – сухой тропический климат;
- М – умеренный холодный морской климат;
- ТМ – тропический морской климат.

Помимо этого, данный ГОСТ устанавливает также категории РЭА в зависимости от размещения:

1 категория – РЭА, эксплуатируемая на открытом воздухе.

2 категория – РЭА, эксплуатируемая под навесом;

3 категория – РЭА, эксплуатируемая в закрытом помещении с естественной вентиляцией (без искусственно регулируемых климатических условий), но при существенном уменьшении воздействия солнечной радиации, ветра, росы, колебаний температуры и влажности.

4 категория – РЭА, размещаемая в закрытых наземных и подземных помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями окружающей среды;

5 категория – РЭА, эксплуатируемая в неотапливаемых и невентилируемых помещениях, в которых может быть влага при ее частичном конденсировании.

Поскольку диапазон рабочих температур может для разных групп составлять:

$-55 \div +55^{\circ}C$; $-65 \div +85^{\circ}C$; $-65 \div +125^{\circ}C$;
 $-65 \div +200^{\circ}C$; $-65 \div +350^{\circ}C$; $-65 \div +500^{\circ}C$;

то местные перегревы могут во много превосходить эти указанные температуры, а следовательно, без дополнительных мер, уменьшающих эти температуры, и без анализа влияния этих факторов на работу элементов, невозможно создать работоспособную и надежную аппаратуру. Влияние температуры на параметры элементов и свойства материалов РЭУ проявляется следующим образом:

1) при низких температурах:

- электролитические конденсаторы замерзают и перестают работать,
- аккумуляторные батареи разряжаются,
- воск и защитные компаунды твердеют и растрескиваются,
- резиновые амортизаторы теряют свою эластичность и перестают работать,

- в механических подвешенных узлах наблюдается замерзание смазки,
- в реле наблюдается слипание контактов,
- в штепсельных разъемах из-за различных ТКЛР пластмассы и металла происходит нарушение контактов,
- уменьшаются усилительные свойства транзисторов.

2) *при повышенных температурах:*

- происходит изменение люфтов и натягов, для ряда элементов могут возникнуть нежелательные деформации и коробления (например, в катушках высокой частоты и конденсаторах переменной емкости),

- некоторые сопротивления и емкости конденсаторов постоянной емкости могут изменять свои значения на величины, намного превышающие рабочий разброс,

- проводимость полупроводников резко возрастает, а именно диоды и транзисторы изменяют расчетные данные для своих параметров, особенно β , h_{11} и $J_{ко}$ – для транзисторов и $R_{обр}$ – для диодов, что может привести к потере работоспособности схем на этих элементах,

- ряд материалов (например, термопластичных пластиков и компаундов) подвергается недопустимым размягчениям, и начинают течь и т.д. и т.п.

Влияние повышенной влажности проявляются в следующем:

1) увеличивается диэлектрическая проницаемость изоляционных материалов;

2) снижается их удельное поверхностное сопротивление;

3) уменьшается электрическая проницаемость воздушных зазоров;

4) происходят побочные физико-химические процессы в диэлектриках и металлах.

Эти причины вызывают нежелательные изменения емкости конденсаторов, уменьшение сопротивления изоляции,

искрение, пробой, разбухание и отслаивание диэлектриков, коррозию металлов, появление плесени внутри аппаратуры.

При малой величине влажности наблюдается высыхание диэлектриков и их растрескивание.

Наиболее стойкими к действию влаги из диэлектриков являются фторопласт, полистирол, полиэтилен; менее стойки – термопластики, керамика и сильно подверженными являются бумага, ткани, гетинакс, текстолит и др. Из металлов менее всего подвержены коррозии свинец, алюминий, несколько больше – медь, никель и очень сильно железо. Проникновение коррозии вглубь металла характеризуются следующими цифрами (в мкм/год): Pb – 4, Al – 8, Cu – 12, Ni – 32, Fe – 200. Эти данные справедливы для химически чистых металлов. В реальных конструкциях используются технические металлы, скорость коррозии у которых еще выше за счет включения различных примесей. Скорость коррозии металлов зависит от величины относительной влажности (рисунок 2.1), а также от температуры и состава газа окружающей среды. Пленки сплавов, образующихся на металлах, являются хорошими защитными средствами от коррозии, в особенности, пленки окислов алюминия и титана (Al_2O_3 , TiO_2). При конструировании РЭА следует также учитывать т.н. «контактную коррозию»- коррозию, возникающую за счет разности электрохимических потенциалов металлов. В табл. 2.1 для некоторых металлов приведены значения электрохимического потенциала.

Таблица 2.1

Металл	Mg	Al	Zn	Cr	Fe	Ni	Pb	Cu	Ag	Au
φ , В	-1,55	-1,3	-0,76	-0,56	-0,44	-0,25	-0,13	+0,34	+0,8	+1,5

Из таблицы видно, что наиболее недопустимыми гальваническими парами являются: алюминий-медь, хром-золото, магний-сталь, сталь-медь и др.

Рассмотрим влияние влаги на характеристики узлов РЭА на некоторых примерах.

Пример 1. Пусть имеем 2 - каскадный усилитель импульсов, собранный на печатной плате из стеклотекстолита СФ-1-0,8. Импульсы на входе имеют длительность $\tau = 1$ мкс, а на выходе временная задержка должна составлять $\tau_{\phi} \leq 0,1$ мкс. Ширина печатных проводников « b » составляет 1 мм, а минимальные расстояния h между ними равны 0,5 мм. Считаем также, что временная задержка импульса в основном обусловлена емкостью коллекторного перехода транзисторов и паразитной емкостью печатных проводников. При эксплуатации усилителя в среде с повышенной влажностью (порядка 98% для тропиков) влагопоглощение стеклотекстолита СФ-1 составляет 2-5% от веса сухого образца, имеющего $\varepsilon = 7$. Как отмечено в [1], даже незначительное проникновение воды ($\varepsilon = 81$) в материал диэлектрика увеличивает его диэлектрическую проницаемость в несколько раз. Примем, что это увеличение равно 3.

Определим вначале для выбранного варианта конструкции идеальную паразитную емкость печатных проводников по формуле:

$$C_{y\phi} = 0,0088 \cdot \varepsilon \frac{b}{h} \left[1 + \frac{h}{\pi b} \left(1 + \log \frac{2\pi b}{h} \right) \right], \quad (2.1)$$

где b и h – ширина и расстояние между проводниками.

$$C_{y\phi} = 0,0088 \cdot 7 \cdot \frac{1}{0,5} \left[1 + \frac{0,5}{\pi \cdot 1} \left(1 + \log \frac{2\pi \cdot 1}{0,5} \right) \right] = 1,66 \text{ нФ/см}.$$

Считаем, что задержки в обоих каскадах равны, тогда временная допустимая задержка на один каскад составит $\tau_{\phi 1} \leq 0,05$ мкс. Поскольку $\tau_{\phi 1} = 3R_k \cdot C_{\Sigma}$, где $C_{\Sigma} = C_k + C_{\text{пар}}$,

R_k – коллекторная нагрузка (принимаяем $R_k = 2\text{кОм}$), C_k – емкость коллекторного перехода транзистора (принимаяем $C_k = 5\text{нФ}$), то получим, что $C_{\Sigma} \leq \frac{\tau_{\phi 1}}{3R_k} = \frac{5 \cdot 10^{-8}}{3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 8,3\text{нФ}$ и $C_{\text{пар}} \leq 8,3 - 5 = 3,3\text{нФ}$.

Последние ограничения накладывают допуски на возможную длину параллельных проводников

$$l \leq \frac{C_{\text{пар}}}{C_{\text{уд}}} = \frac{3,3}{1,66} \cong 2\text{см} = 20\text{мм}.$$

При действии влаги изменение емкости печатных проводников прямо пропорционально изменению ε при постоянных размерах конструкции. Так как нами было принято трехкратное увеличение ε , то $C_{\text{уд}} = 5\text{нФ/см}$, $C_{\text{пар}} = 10\text{нФ}$, $C_{\Sigma} = 15\text{нФ}$, $\tau_{\phi 1} = 0,09\text{мкс}$ и $\tau_{\phi} = 2\tau_{\phi 1} = 0,18\text{мкс} > 0,1\text{мкс}$.

Следовательно, с учетом действия влаги на конструкцию для обеспечения требований ТУ на него необходимо:

- либо ввести конструктивное ограничение на длину параллельный печатных проводников, а именно,

$$l \leq \frac{3,3}{5} \cong 0,7\text{см} = 7\text{мм};$$

- либо применить более влагостойкий материал, например, стеклотекстолит СТЭФ-1 (влагопоглощение не более $0,5 \div 2\%$, т.е. примерно в 3 раза меньше), - либо повысить качество влагонепроницаемого лакового покрытия.

Пример 2. Пусть имеем микрополосковую линию, выполненную на поликоровой подложке и работающую в 3-см диапазоне. Известно, что толщина микрополосковых проводников составляет $10 \div 15$ мкм с учетом наращивания

пленочных проводников электрохимической медью. Если принять, что срок хранения изделия должен составлять не менее 2÷3 лет, то за это время глубина коррозии меди, даже химически чистой, будет равна $(2÷3)12=24÷36$ мкм, т.е. микрополсковая линия исчезнет. Поэтому ее необходимо защищать покрытием с электрохимическим потенциалом, близким к электрохимическому потенциалу меди. Из табл. 2.1 видно, что можно применить серебрение или золочение. В силу технологических особенностей выбирают золото. Непосредственно осаждать золото на нихром нельзя из-за большого электрохимического потенциала этой пары. Величина золотого покрытия с учетом подслоя меди должна выбираться из глубины проникновения высокочастотного тока в металл по формуле:

$$X_{\rho} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \quad (2.2)$$

где X_{ρ} – глубина проникновения тона, мм,
 ρ – удельное сопротивление металла,
 $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$,
 f – рабочая частота, МГц.

Для случая золота ($\rho = 0,024 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$) и $\lambda = 3 \text{ см}$, т.е.
 $f = 10^4 \text{ МГц}$ получим:

$$X_{\rho} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,024}{10^4}} = 0,78 \text{ мкм} < 10 \text{ мкм}.$$

Для диапазона волн $\lambda = 20 \text{ см}$ $X_s = 2 \text{ мкм} < 10 \text{ мкм}$.
 Таким образом, золоченые микрополосковые линии (покрытие 2 мкм) надежно могут работать в СМ и ДМ диапазонах волн при толщинах порядка 10 мкм.

Отметим также возможные изменения других параметров микрополосковых линий в случае изменения диэлектрической проницаемости их подложек на 20÷30%. Для поликора можно принять $\varepsilon = 10$. Тогда под действием влаги изменение ε составляет 2÷3. При этом известно, что длина волны в микрополосковой линии равна

$$\Delta = \frac{\lambda k}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (2.3)$$

где λ - длина волны в свободном пространстве,
 k - коэффициент удлинения волны, определяемый из графика (рисунок 2.2),
 b и h - ширина микрополоскового проводника и толщина подложки.

Примем, что $b = h = 1 \text{ мм}$, тогда $k = 1,22$. В нормальных условиях влажности и при 98% влажности получим соответственно для $\lambda = 3$: $\Delta = \frac{3 \cdot 1,22}{\sqrt{10}} = 1,15 \text{ см}$ и

$\Delta = \frac{3 \cdot 1,24}{\sqrt{13}} = 1,03 \text{ см}$ т.е. изменение длины волны в микрополосковой линии составило 10%, что может оказаться существенным в некоторых случаях.

Аналогично самостоятельно можно определить изменение волнового сопротивления линии, пользуясь исходной формулой для этого параметра:

$$\rho = \frac{377b}{\sqrt{\varepsilon b} \left[1 + 1,735 \cdot \varepsilon^{-0,07} \left(\frac{b}{h} \right)^{-0,84} \right]}, [\text{Ом}] \quad (2.4)$$

Условия работы авиационной, ракетной и космической РЭА характеризуются, как правило, пониженными значениями атмосферного давления (рисунок 2.3). Зависимость рабочих значений атмосферного давления от высоты над уровнем моря оговорена ГОСТ 4401-64 (табл. 2.2)

Таблица 2.2

Н, км	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	26	31
p, мм рт.с т.	674	596	526	462	354	267	199	145	106	78	57	41	16	7,7

Влияние пониженного давления на работоспособность РЭА проявляется через следующие явления:

1. Уменьшается электрическая прочность воздушных промежутков,
2. Ухудшаются условия теплообмена конвекцией, что вызывает дополнительные перегревы изделий,
3. В герметичных блоках возникают дополнительные механические напряжения в стенках, крышках и деталях крепления за счет перепада давлений.

Зависимость коэффициента относительной электрической прочности воздушных промежутков от высоты над уровнем моря представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Н,км	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	26	31
К _Е	1	0,9	0,8	0,72	0,56	0,45	0,35	0,3	0,25	0,19	0,14	0,1	0,05	0,03

Заметив что с дальнейшим уменьшением давления (ниже 6-7 мм рт. ст.), т.е. с повышением высоты более, чем 30-40 км, электрическая прочность возрастает и подчиняется закону Пашена (рисунок 2.4).

Уменьшение конвективной теплопередачи определяется из графика (рисунок 2.5), где величина коэффициента k представляет собой отношение коэффициентов теплоотдачи при заданном и нормальном давлениях:

$$k = \frac{\alpha}{\alpha_0}. \quad (2.5)$$

Это уменьшение теплоотдачи, в свою очередь, приводит к уменьшению электрической прочности из-за повышения температуры узлов и температуры окружающего их объема (среды). Коэффициент снижения напряжения поверхностного перекрытия в интервале температур +20÷+150°С при всех значениях атмосферного давления от 760 мм рт.ст. до 3 мм рт.ст. близок к температурному коэффициенту изменения плотности воздуха и может быть оценен следующей формулой:

$$K_t = \frac{T + t_n}{T + t_{ном}}, \quad (2.6)$$

где T – температура платы, поверхности узла и т.п.;
 $t_n, t_{ном}$ – температура окружающего воздуха в нормальных и номинальных заданных условиях.

Значение коэффициента K_t от температуры окружающей среды представлены в таблице 2.4

Таблица 2.4

$t, ^\circ\text{C}$	50	70	100	120	150	175	200
K_t	0,9	0,85	0,78	0,75	0,7	0,65	0,6

Таким образом, оба указанных фактора при пониженном атмосферном давлении могут значительно уменьшить диапазон рабочих напряжений в радиоэлектронных устройствах.

Пример: требуется определить рабочее напряжение питания радиоэлектронного блока на печатной плате, работающего при $P = 7,7$ мм рт.ст. (31 км высоты) и температуре окружающего воздуха $t_{ном} = +70^\circ\text{C}$. При этом известно что рабочая частота блока равна 5 МГц, а зазоры между печатными проводниками составляют порядка 1 мм. Из справочных данных определяем электрическую прочность воздуха при промежутке 1 мм для нормальных условий $E_0 = 4 \text{ кВ/мм}$. Согласно данным таблицы 2.3 определяем электрическую прочность при пониженном давлении $E = 4 \cdot 0,03 = 120 \text{ В/мм}$. Пробивное напряжение при этом в зазоре в 1 мм равно 120 вольт. Как следу из графика рисунок 2.6 величина этого напряжения при частоте 5 МГц должна быть уменьшена на 25%, т.е. $u_f = 0,75 \cdot u_0 = 0,75 \cdot 120 = 90$

вольт. Далее учтем снижение напряжения поверхностного пробоя от окружающей температуры согласно данным табл. 2.4, т.е. $u_{np} = u_f \cdot K_t = 90 \cdot 0,85 = 76$ вольт. Поскольку величина рабочего напряжения обычно выбирается в 1,5-2 раза меньше,

то в нашем случае в итоге получаем $u_{раб} \leq \frac{u_{np}}{(1,5 \div 2)} \cong (50 \div 40)$

вольт. Откуда видно, что применение ламп, даже сверхминиатюрных, для печатных узлов в этих условиях нецелесообразно.

Воздействие пыли и песка заметно сказывается на работе наземной РЭА, в особенности, транспортной. Частицы пыли имеют размеры от 5 до 200 мкм, могут быть абразивными и гигроскопичными. При высокой влажности (свыше 75%) пыль впитывая влагу, становится проводником, а при малой величине влажности (5-10%) частицы пыли электрически заряжаются. Частицы песка состоят, в основном, из округленных зерен кварца со средним диаметром 500мкм.

Влияние пыли и песка на работу РЭА проявляются в следующем:

1. Сухая пыль и песок попадая в подшипники и другие кинематические пары, засоряют смазки, вызывают заедания и износ; в реле они могут привести к отказу в срабатывании контактов.

2. Электростатически заряженная сухая пыль увеличивает опасность поражения от электрического разряда высоковольтных источников напряжения электроннолучевых трубок и т.п.

3. Влажная пыль снижает на несколько порядков поверхностное сопротивление изоляции диэлектриков, способствует развитию пробоя и коррозии металлов, в особенности, с примесью сажи, адсорбирующей ангидрид SO_2 .

Фоновые излучения имеют различную природу их образования: солнечную и электронного происхождения. Спектр солнечных лучей занимает, в основном, диапазон рентгеновского и инфракрасного излучения. Энергия

солнечных лучей, падающих на земную поверхность составляет $2\text{ кал/см}^2\text{ мин}$ (солнечная постоянная) и зависит от поглощающей способности атмосферы во времени.

Космическое излучение образует несколько поясов радиации вокруг Земли, первый из которых расположен на высоте от 2 тысяч до 5,4 тыс. км и имеет максимальную интенсивность при нейтронном излучении 10 рад/час (если радиация состоит из тяжелых протонов, то это значение возрастает до 100 рад/час). Второй пояс радиации начинается на высоте порядка 13 тыс. км и простирается до 19,3 тыс. км и имеет интенсивность радиации порядка десятых долей рад/час.

Наиболее сильным для РЭА являются фоновые излучения, возникающие при ядерных взрывах и работе ядерных реакторов.

Различают 4 типа ядерного излучения: мгновенное (гамма - лучи), инициированное (нейтроны и гамма - кванты), стационарное (альфа и бета - частицы) и остаточное (продукты расщепления атомов).

Остаточное излучение обладает сравнительно малой интенсивностью и, как правило, не представляет опасности для аппаратуры. Примерно такой же эффект оказывает на ЭС стационарное излучение.

Наиболее опасными видами являются гамма – излучение, обладающее высокой проникающей способностью, и нейтронное излучение, вызывающее дефекты решетки и сильную ионизацию. При высотном ядерном взрыве с эквивалентом в 1 Мт течение 1 мкс и расстоянии в 160 км гамма – излучение может дать дозу облучения мощностью в 10^7 рад/сек. В этих условиях ЭС может поглотить радиацию порядка $10^6 - 10^{10}$ рад. Поток нейтронов является причиной большинства необратимых повреждений материалов и деталей ЭС. Уровни ядерной радиации, вызывающие изменения свойств материалов, могут быть оценены либо дозой поглощения в радах либо плотностью потока эквивалентных нейтронов, приходящихся на 1 см^2 .

Наиболее стойкими к радиации являются металлы и сплавы, выдерживающие значительные дозы облучения (порядка $10^{10} - 10^{12}$ рад), при этом несколько увеличивается их прочность и теряется ковкость (вязкость), электрические характеристики практически не меняются.

Далее следуют ионные материалы (керамика, кварц, стекло, сталлы), выдерживающие дозы в $10^7 - 10^8$ рад. Изменения электрических и механических свойств при этом незначительные, однако, увеличивается стойкость к пробое, а кварц и стекло начинают тускнеть, терять прозрачность.

Класс материалов пластмасс и эластомеров более подвержены радиации и изменения их свойств начинают наблюдаться уже со значений доз радиации порядка $10^5 - 10^6$ рад. В табл. 2.5 указаны уровни радиации, вызывающие изменения свойств этих материалов.

Таблица 2.5

Материал	Применение	Доза радиации, рад		Плотность потока быстрых нейтронов, нейтр/см ²	
		Пороговые изменения, 10^5	Изменение св-в на 25%, 10^5	Пороговые изменения, 10^{14}	Изменение св-в на 25%, 10^{15}
Эластомеры Каучук (неопрен) Бутиловый каучук Силиконовый каучук	Амортизатор	55	250	28	6,3
	Герметик	20	40	4,3	0,84
	Изоляция	13	42	4,9	1,6
	Покрытия	8000	40000	2800	1400
	Изоляция	200	1000	40	20

Пластмассы	Изоляция	8,6	47	2,6	1,4
Полистирол	Изоляция	0,17	0,37	0,48	0,1
Полиэтилен					
Полиамид					
Фторопласт-4					

Из таблицы видно, что доза радиации и плотность потока быстрых нейтронов находятся примерно в соотношении $1:10^8$. Термопластичные материалы при облучении становятся хрупкими и деформируются. Они темнеют или обесцвечиваются. Кроме того, у некоторых наблюдается побочный эффект – разложение материала с выходом газа и образованием кислот. Так, например, прекрасный во многих качествах фторопласт-4 (химически инертный, температуростойкий - $+250^\circ\text{C}$, высокочастотный и т.п.) практически непригоден для использования при сравнительно малых дозах облучения (10^4 рад) за счет образования при облучении фтористоводородной кислоты. Наиболее стойким является полистирол, применяемый часто в виде покровного лака и несущих конструкций. Большинство эластомеров при облучении становятся твердыми и хрупкими (неопрен, кремнеорганическая резина), а бутиловый каучук – клейким. Органические пропитки и изоляционные масла увеличивают свою вязкость, образуют отстой и выделяют газ.

Проволочные резисторы и резисторы из металлических пленок легко противостоят потокам с плотностью более 10^{16} нейтр/см². То же можно сказать о стеклянных, слюдяных и керамических конденсаторах. Например, изменение номинала проволочного сопротивления на +15% наблюдается при 10^{19} нейтр/см², а подобные изменения резисторов непроволочного типа (углеродистых, металлизированных и композиционных) – при $10^{16} - 10^{18}$ нейтр/см². Порог повреждения стеклянных и стеклоэмалевых конденсаторов начинается с плотности потока 10^{16} нейтр/см², слюдяных и керамических – 10^{15} нейтр/см²,

бумажных и пленочных – 10^{14} нейтр/см², и танталовых – с 10^{13} нейтр/см².

Значительные изменения свойств при облучении характерны для полупроводниковых материалов и приборов, в которых возникают сильные обратные токи р-п переходов и падает коэффициент усиления (в транзисторах). Наиболее стойкими к радиации являются германиевые туннельные диоды, диоды из арсенида галия и р-і-п диоды ($10^{16} \div 10^{17}$ нейтр/см²), далее следуют высокочастотные диоды и мощные транзисторы с тонкой базой ($10^{14} \div 10^{16}$ нейтр/см²), обычные транзисторы и выпрямители имеют порог необратимых изменений порядка ($10^{12} \div 10^{13}$ нейтр/см²). Для двухполусного транзистора порог радиационного повреждения примерно на порядок меньше, чем для диода. Изменение коэффициента β кремниевых транзисторов с $f_{\max} = 400 \text{ МГц}$ составляет уменьшение на 50 – 70% при плотности потока 10^{14} нейтр/см². Заметим попутно, что ЭВП выдерживают уровни радиации в 10^{19} нейтр/см². Однако, наметившееся было перспектива их применения вместо полупроводниковых активных элементов в условиях радиации была отвергнута исследователями радиационной стойкости ИМС. Испытания микроэлектронных элементов показали, что полупроводниковые ИМС (без корпуса) имеют порог повреждения порядка 10^{15} нейтр/см², а бескорпусные тонкопленочные ИМС на порядок выше. Если учесть, что ИМС имеют индивидуальные корпуса из металлов или общий корпус конструкции блока, в котором они применяются, то можно считать, что плотности потоков в $10^{18} \div 10^{19}$ нейтр/см² не является для них опасными. Кроме этого, было отмечено, что если на ИМС поддерживать низкие питающие напряжения, а в их активных элементах применять тонкие базы, то степень воздействия излучения уменьшается.

Под биологической средой, воздействующей на ЭС, понимают, в основном, действие плесневых грибов, насекомых и термитов.

Плесневые грибки не имеют хлорофилла и поэтому используют органические вещества, на которых происходит их рост. Рост плесени происходит при влажности свыше 65% и убыстряется при неподвижности воздуха и затемнении. Споры грибов поступают из почвы и распространяются по воздуху вместе с пылью. Они необычайно стойки к повышенной температуре, сухости, ядам и солнечным лучами даже при длительном их воздействии в течении многих лет способны к дальнейшему росту. Под действием плесени снижается удельное поверхностное сопротивление диэлектриков, образуются каналы утечки зарядов, увеличивается коррозия металлов.

Насекомые, проникая в ЭС, погибают внутри от температуры и зарядов, а их трупы образуют благоприятную почву для роста плесени.

Термиты разъедают термопластики (хлорвиниловую изоляцию), создавая опасность коротких замыканий.

Защита ЭС от факторов внешней среды.

Наиболее полным видом защиты от всех перечисленных факторов является корпусирование ЭС или отдельных ее частей с *общей герметизацией*. Общая герметизация может быть вакуумной («паяный шов», сварка) или неполной (с помощью уплотнительных прокладок). Однако во многих случаях, в особенности, для наземной ЭС возможности общей герметизации ограничены из-за наличия подвижных органов управления, систем продувки воздухом и т.п. В этих случаях возможны различные способы защиты ЭС от того или иного фактора в отдельности.

Способы *лагозащиты* подразделяют:

1. Применение неорганических материалов (стекло, керамика, слюда, кварца), нержавеющей сталей, оксидированных материалов и сплавов и антикоррозионных покрытий (никелирование, цинкование, кадмирование и т.п.). необходимо помнить, что цинкование, никелирование,

кадмирование, фосфатирование и покрытие хромом применимы для защиты от коррозии стальных и медных конструкций, защита алюминиевых и магниевых сплавов проводится с помощью никелирования, серебрения, оксидирования и анодирования. При этом чистота покрываемых поверхностей должна соответствовать $\nabla 4\text{-}\nabla 7$; ($R_z = 40 \div 6,3$)

2. Гидрофобизация поверхностей диэлектриков: печатные платы покрывают 2-3 слоями лаков УР-231, Э4100, СБ-1с; изделия из стекла и керамики хорошо гидрофобизируются покровной жидкостью ГКЖ-94; для высокотемпературных узлов применяют кремнийорганические лаки К-57, К-47 (рабочая температура до $+250 \div 300^\circ\text{C}$); изделия из металлов для тропического исполнения покрывают эмалями ЭП-51, ПФ-163 и др.

3. Пропитка и заливка изоляционными материалами; пропитка отличается от заливки тем, что изоляционный материал не только заполняет свободные зазоры между изделием и стенками корпуса (или заливочной формы), но и проникает по всем каналам, включая капиллярные, внутрь материалов конструкции: материал, применяемый для этих целей должен обладать малым произведением $\varepsilon \cdot \text{tg} \delta$, высокой теплопроводностью и теплостойкостью, электрической прочностью, малым влагопоглощением, слабой химической активностью, высокой проникающей способностью, хорошей адгезией к металлам, малой усадкой. Часто пропитка и заливка применяется для улучшения электрических и механических свойств изделий, например, пропитка конденсаторов повышает их электрическую прочность, заливка микромодулей увеличивает жесткость и прочность конструкций. Различают жидкие, твердые, пропитки и эластомеры. К жидким относятся конденсаторные и трансформаторные масла (октол, совол и др.). Для пропитки бумажных конденсаторов применим *жидкий полиизобутилен* ($t = +125^\circ\text{C}$, $\text{tg} \delta = 10^{-3}$, $\rho_u = 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{см}$). При выборе

материала заливки следует учитывать, что в ряде случаев он может вызывать химические реакции или действовать как растворитель, например, герметик УТ-32, применяемый для герметизации фланцевых, болтовых, заклепочных и др. соединений непригоден для изделий с серебряным покрытием, лак ФЛ-98 растворяет эмали и т.п. К твердым пропиткам и заливкам относятся компаунды *КГМС* (для заливки трансформаторов), *МБК* (для защиты различных деталей и узлов, включая трансформаторы, катушки, полупроводниковые бескорпусные приборы – марки *МБК п/п*), компаунды эпоксидные *ЭК-166* (микромодули), *ЭПК-1* (многослойные обмотки) *ЭЗК* (заливка линий задержки, импульсных трансформаторов, триодов, диодов, деталей из полистирола). Перечисленные выше марки компаундов, в основном, применимы для низкочастотных изделий. Для пропитки-заливки *высокочастотных схем* применяют пенополиуретаны марок *ПУ-3*, *ПЭ-5*, *ПУ-101* (удельный вес $0,04 \div 0,5 \text{ г/см}^3$ вместо $1,3 \div 1,7 \text{ г/см}^3$ для эпоксидных, $\varepsilon = 1,05 \div 1,25$; $\text{tg } \delta = 10^{-3} \div 10^{-4}$; $t_{\text{полимеризации}}^0 = 100 \div 170^\circ \text{C}$). В тех случаях, когда заливке подвергаются изделия с тонкими гибкими выводами, чувствительными к усадке элементами (полупроводники, ферриты и т.п.) применяют эластомеры марок *СКТ-Н*, *К-18*, *Д-2* (заливка микросхем, штепсельных разъемов, микромодулей). Для заливки высокочастотных катушек применяют полистирол с кварцевым наполнителем.

4. Прессовка пластмассами. Для термопластичных пластмасс (полистирол, полиэтилен, фторопласт) толщина слоя материала берется порядка $2 \div 3 \text{ мм}$, а для термореактивных (пресспорошки *К-18*, *К-211-2*, *К-21-22*, *К-114-35*, *АГ-4* и др.) $5 \div 10 \text{ мм}$. Однако, этот способ малоэффективен из-за частой разнице в ТКЛР прессматериала и материала изделия, т.е. наличие каналов влагопоглощения в местах выводов (металл - пресспорошок) сохраняется.

К способам *комбинированной защиты* от повышенной влажности и температуры относятся известные методы тропикализации:

1. полная герметизация;
2. кондиционирование воздуха в помещениях;
3. принудительный подогрев аппаратуры на определенное время;
4. заливка, пропитка, обволакивание.

Рассмотрим только второй и третий способы, так как остальные уже были изложены выше.

Кондиционирование воздуха в тропических условиях работы наземной РЭА преследует цель регулирования температуры и влажности. Для этих целей используют холодильные установки и подогревательные аппаратуры. Если воздух значительно насыщен влагой, то забирая его в установку воздуходувкой, можно охладить его до «точки росы» «температура перехода влажных паров в жидкость», отобрать излишнюю влагу, а затем подогревая его (еще более просушивая) вновь вернуть в рабочее помещение. Этот способ достаточно дорог, однако для нормальной эксплуатации и высокой надежности работы наземных групп радиообслуживания он необходим в условиях тропиков.

Подогрев аппаратуры на короткие интервалы времени является сравнительно дешевым и эффективным способом обеспечения работоспособности РЭА в условиях тропиков [см н/о]. В литературе приводятся например: партия радиопередатчиков лампового типа ежедневно включались утром на 30 минут без подачи высокого напряжения; мощность рассеиваемая цепями начала, составляла 300 Вт, относительная влажность при этом составляла в начальный момент 97% (вне корпуса) 96% (внутри), а через полчаса соответственно – 92% и 68%; при этом все передатчики сохранили свою работоспособность в условиях тропиков в течение 2,5 лет (22000 часов), в то время, как другие блоки передатчиков без подогрева пришли в полную негодность (коррозия, плесень, пробой и т.п.). Заметим также, что для

блоков, герметизированных с помощью уплотнительных прокладок, в условиях тропиков весьма эффективным является применение силикогеля, который способен поглотить воды до 40% от собственного веса и тем самым увеличить на несколько порядков время, в течение которого внутри блока сохраняется вполне сухой воздух. Так, например, 1 литр сухого воздуха при 30°C насыщается при поглощении 30мг воды, но 10 г активированного силикогеля позволяют впитывать 3г воды без увеличения относительной влажности внутри блока выше 70%.

К способам защиты от биологической среды относятся:

1. применение тонких металлических сеток от насекомых,
2. применение фунгицидов (противоплесневых ядов) в лакокрасочных материалах и эмалях и др. антисептических веществ.

Рекомендуемые способы защиты от действия ядерной реакции сводятся к следующим правилам:

1. максимально возможное использование в конструкции РЭА керамики, стекла, стеклоткани, металлов и сплавов,
2. применение локальных свинцовых экранов и металлических стенок,
3. применение специальных поглотителей из совокупности органических материалов типа «болото».

2.2 Системные факторы, определяющие построение электронных средств

Основное требование при проектировании РЭА состоит в том, чтобы создаваемое устройство было эффективней своего аналога, т.е. превосходило его по качеству функционирования, степени миниатюризации и технико-экономической целесообразности (рисунок 2.1).

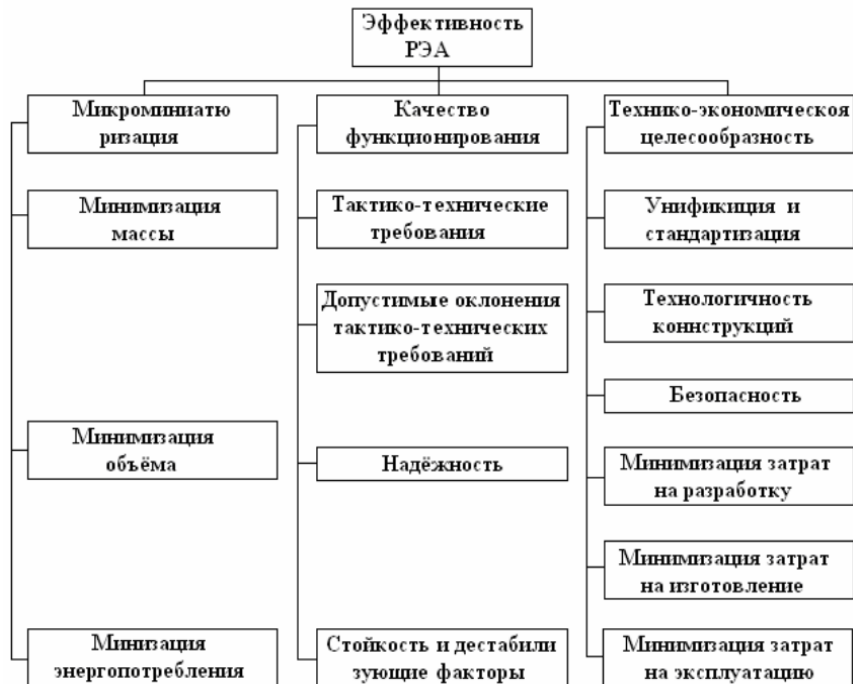


Рисунок 2.1 - Показатели эффективности РЭА

В общем виде эффективность РЭА можно оценить основной целевой функцией:

$$E = f(z_1, z_2, \dots, z_n) = f(Z),$$

где

$$Z = \{z_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}; \quad z_i \in Z$$

Такая функция дает количественную оценку степени достижения поставленной цели и поэтому называется целевой функцией. Элементами Z_i множества Z являются частные целевые функции, т.е. отдельные качественные и

количественные показатели, определяющие пригодность применения РЭА в соответствии с назначением. Такими показателями для РЭА являются: масса, объем, энергопотребление, диапазон частот, быстродействие, чувствительность, коэффициент усиления, полоса пропускания, дальность действия, выходное напряжение, точность, электромагнитная совместимость, ударопрочность, влагостойкость, уровень унификации и миниатюризации, технологичность, безопасность, себестоимость, экономичность и т.д.

Успешное решение проблемы формализации конструкторской деятельности возможно лишь при ее алгоритмизации и автоматизации с использованием математических методов, теории графов, алгоритмов, математического программирования, использования операций, вычислительных методов и др.

Одна из основных особенностей процесса разработки новых моделей РЭА – переход к системным методам решения задач при проектировании РЭА. Системные методы связаны с понятием «система». Под системой будем понимать совокупность взаимосвязанных разнородных устройств, частей, подсистем, совместно выполняющих заданные функции, решающих общую задачу в условиях взаимодействия с внешней средой, с учетом развития и противоречий. При системном подходе изучаемый проектируемый изготавливаемый объект рассматривается как система.

Системный подход базируется на рассмотрении изучаемого объекта во взаимосвязи с окружающими объектами. Его задачами являются исследование специфических связей, установление закономерностей, присущих отдельным типам систем, разработка на этой основе определенных методов, их описание и изучение.

Сформулируем основные положения системного подхода:

1. Параметрическое описание, которое является простейшей формой научного анализа. Оно представляет собой исследование любого объекта, которое базируется на эмпирических наблюдениях, описание свойств, признаков и отношений исследуемого объекта к другим.

2. Структурное описание исследуемого объекта, которое выполняют после выявления параметров. Оно предусматривает переход к определению подэлементного строения исследуемого объекта. Основная задача состоит в том, чтобы установить взаимосвязи свойств, признаков, выявленных при параметрическом описании исследуемого объекта.

3. Функциональное описание исследуемого объекта, которое может быть выполнено исходя из функциональных зависимостей между параметрами (функционально – параметрическое описание) или частями объекта (функционально – структурное описание). Специфика состоит в том, что функция части объекта задается на основе характеристики всего объекта.

Использование системного подхода упрощать процесс исследования. Особенность системного подхода заключается в новой ориентации всего хода исследования, которое состоит в стремлении построить целостную картину исследуемого объекта.

Системный подход базируется на следующих принципах:

1. При исследовании объекта как системы описания его частей не имеет самостоятельного значения, так как каждая часть объекта описывается не отдельно, а с учетом ее роли во всем объекте.

2. Специфика системного объекта не исчерпывается особенностями составляющих его частей, а связана с характером взаимосвязей между отдельными частями.

3. Один и тот же исследуемый объект выступает как обладающий одновременно разными характеристиками,

параметрами, функциями, структурой. Проявлением этого является иерархичность строения систем.

4. Исследование системы, как правило, неотделимо от исследования условий ее функционирования.

5. При исследовании сложного объекта учитывается зависимость состояния частей от состояния всей системы.

6. Анализ функциональной характеристики исследуемого объекта может оказаться недостаточным, так как весьма важно установить целесообразность функционирования системы.

Рассмотрим в качестве примера системного объекта проектирование, компоновку РЭА.

Компоновка (от лат. «compono» - составляю) – составление из отдельных частей (компонентов) одного согласованного целого в соответствии с определенным замыслом.

Применительно к радиоэлектронной аппаратуре компоновка – это процесс размещения в пространстве или на плоскости основных элементов конструкции радиоизделия или их моделей с установлением основных геометрических форм и размеров между ними. Компоновка является одной из основных задач разработки конструкции РЭА с целью обеспечения необходимых требований ТЗ.

2.2.1 Факторы, определяющие компоновку РЭА

На выбор компоновочного решения РЭА оказывают влияние *ряд факторов*, которые могут быть объединены в условные группы, связи между которыми образуют так называемый «*треугольник взаимосвязей*» (рисунок 2.2). Эти связи могут проявляться непосредственно или косвенно.

Первая связь – это прямая информационная связь от индикаторных или звуковых устройств к рецепторному аппарату человека-оператора. Эта связь присутствует как на этапах изготовления и регулировки аппаратуры, так и на этапе эксплуатации.

Вторая (обратная) связь позволяет оператору на тех же этапах воздействовать на аппаратуру с целью обеспечения ее нормальной работы при наличии тех или иных возмущающих факторов.

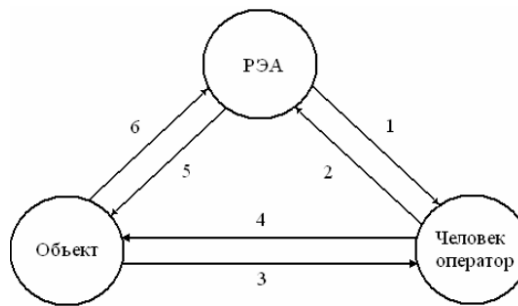


Рисунок 2.2 - Треугольник взаимосвязей

Третья связь выдает оператору данные о существующей обстановке (крен самолета, повышение температуры в автофургоне РЛС и т.п.), воздействуя на его психологическое состояние. В случае отклонений от норм нормального жизнеобеспечения или полета самолета оператор может непосредственно воспользоваться четвертой связью (включить вентилятор) либо использовать связи 2, 5 (устранить крен самолета с помощью РЭА).

Пятая связь может быть как непосредственной (управление полетом через РЭА), так и косвенной (требование облегченного доступа к РЭА и т.п.). Более сильной связью является шестая, которая накладывает часто весьма жесткие эксплуатационные и габаритно-весовые требования к РЭА.

К первой группе факторов («собственно РЭА»), которые нужно учесть при компоновке, относятся:

1. Принципиально – функциональные связи.
2. Энергетическо – весовые и энергетическо – объемные требования.
3. Требование электромагнитной совместимости и минимальных паразитных связей.

4. Требование обеспечения нормального теплового режима РЭА.

Эта группа факторов предопределяет так называемую «внутреннюю» компоновку РЭА.

Ко второй группе факторов («оператор»), учитываемых при компоновке для обеспечения требований эргономики (согласование параметров оператора с РЭА и объектом), относятся:

1. Количество и качество воспринимаемой информации.
2. Размеры, форма и расположение индикаторных приборов, органов управления и контроля.
3. Форма и цветовая гамма индикаторного пульта.
4. Психофизиологические и антропометрические особенности и параметры оператора.

Эта группа факторов определяет так называемую «внешнюю» компоновку радиоаппаратуры.

К третьей группе факторов («объект») относятся факторы, обусловленные воздействием внешней среды и особенностями условий эксплуатации, а также комплексом ТТТ на объект. Можно отметить главные из них, а именно:

1. Требование функционально – конструктивного расчленения на блоки к их форме, объему, весу, положению центра тяжести.
2. Требования защиты от температуры внешней среды, влаги, механических воздействий, пыли, фонового излучения, биологической среды, пониженного давления и т.п.
3. Требование создания определенного варианта компоновки комплекса РЭА на объекте, т.е. обеспечение заданного размещения конкретных блоков в заданных местах и объемах.

Эта группа факторов влияет как на разработку «внутренней», так и «внешней» компоновки РЭА.

Таким образом, компоновка РЭА рассмотрена с учетом системных факторов, определяющих построение электронных средств.

2.3 Факторы взаимодействия в системе «человек-машина»

2.3.1 Человеко-машинные системы, их классификация и свойства

Термин «эргономика» (греч. *ergon* – работа, *nomos* – закон) обозначает науку о взаимодействии человека-оператора с машиной и средой, объединённых в единую эргатическую систему. Эргономика возникла на стыке технических наук, психологии, физиологии и гигиены труда.

Инженерная психология является отраслью эргономики и ставит своей задачей комплексное изучение и проектирование внешних и внутренних средств деятельности человека-оператора.

Художественное конструирование подразумевает использование основных законов эргономики и технической эстетики при разработке конструкций.

Важнейший вопрос проектирования эргатических систем представляет собой строго научное разделение функций между оператором и машиной в будущей системе. Этого не может сделать ни психолог, ни физиолог, ни гигиенист, поскольку они не знают свойств машины требуемых характеристик всей системы. Это обязан сделать конструктор-разработчик, обладающий знаниями эргономики, знающий возможности оператора в системе, уровень современной автоматики и реализующий общие требования на систему.

Важность развития этой науки в областях радиотехники и конструирования РЭА подчёркивается тем примером, что сравнительный анализ ряда существующих американских ракетных систем показал, что ошибки человека-оператора составляют 20-53% всех отказов в системе. Нетрудно уяснить, какую роль играет человек-оператор в современных системах летательных аппаратов и автоматизированных системах контроля и производства. Поэтому изучение возможностей

человека-оператора в замкнутой эргатической системе, согласования его аппарата восприятия с РЭА для оптимизации основной целевой функции системы является не «модой», а такой же необходимой задачей, как и само проектирование технических средств.

Понятие эргатических систем и их свойства.

В общее понятие «система» входит совокупность элементов, взаимосвязанные функции которых координированы для выполнения некоторой общей задачи.

Эргатическая система (ЭС) – это система «человек-машина», содержащая качественно разнородные компоненты – человека и технические средства. Эргатические системы чрезвычайно разнообразны и иерархичны. Например, система «командир корабля(первый пилот) – приборы, органы управления – самолет» и система «штурман-радист – радиоаппаратура самолёта» находятся не только во взаимосвязи, но и подчинены общей более сложной системе «самолёт, выполняющий задание», которую обслуживают и ряд других наземных систем и комплексов, являющиеся также эргатическими системами.



Рисунок 2.3 - Система управления

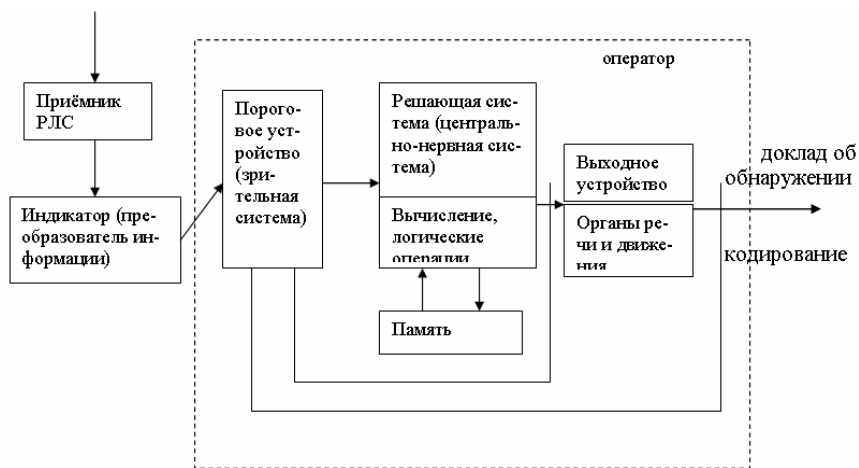


Рисунок - 2.4. Система обнаружения-контроля

а) Замкнутая сервосистема



б) Аналогия слежения, осуществляемая оператором



Рисунок 2.5 - Сервосистема

Классификация эргатических систем может быть проведена по ряду признаков. По *основной целевой функции* они делятся на *контрольные, управления, поисковые, восстанавливающие* и *обучающие* эргатические системы.

В первом случае (*контрольная ЭС* – см рисунок 2.5) выходные сигналы оператора можно не вводить в наблюдаемую им систему. Оператор здесь включён в систему «как бы параллельной» (хотя на схеме рисунка это выглядит последовательно). Основная функция оператора – контроль, наблюдение за системой, измерение её параметров и т. п. Примером такой системы может являться работа оператора с индикатором кругового обзора ИКО.

В *системе управления* (см рисунок 2.4) оператор становится непосредственным участником в выполнении системы её задачи и включён в систему «как бы последовательно» (по схеме рисунка – параллельно) с техническими элементами системы. Основная функция оператора – регулирование, слежение, стабилизация и приведение координат выхода системы к их заданному значению. Эта система замкнута через оператора.

Системы управления имеют две разновидности: *систему слежения с компенсацией* и *систему слежения с преследованием*. В первом случае оператор наблюдает только рассогласование между текущим выходным показателем (координатой) системы и требуемым значением, и его задача состоит в том, чтобы довести величину рассогласования до нуля или до заданного уровня, то есть скомпенсировать ошибку рассогласования. Примером таких систем могут являться системы регулирования самой РЭА, системы регулирования технологических процессов и т. п.

При слежении с преследованием оператор наблюдает величину как входного, так и выходного сигнала, и его задача состоит в том, чтобы, управляя машиной, изменять выход системы и тем самым как бы «преследовать» её вход. Примерами таких систем могут являться системы посадки самолёта, работы бортовой РЛС в режиме захвата и сопровождения цели и др.

Поисковая ЭС, как правило, возникает при отказе функционирующей ЭС, когда требуется вмешательство оператора для определения причин и места отказа в системе.

Она включает в себя оператора, проверяемую машину и устройство поиска.

Восстанавливающая ЭС возникает после определения причины отказа, и главная функция оператора в такой системе – восстановить систему путём ремонта или демонтажа неисправного блока.

Примерами *обучающих ЭС* являются различного рода тренажёры, обучающие машины и т. п.

По *типу информационной модели* ЭС делятся на:

- 1) ЭС с дифференциальной информационной моделью;
- 2) ЭС с интегральной информационной моделью.

Дифференциальная информационная модель (ИМ) включает в себя подробные сведения об отдельных параметрах ЭС. Как правило, информация от «машины» к оператору поступает первичная, без предварительной обработки. При этом оператор получает точную количественную оценку состояния отдельных элементов технической части ЭС, её выходных параметров. Чтобы получить общее представление о состоянии ЭС на основе показаний детальной ИМ, оператору необходимо определённое время для обработки всей разрозненной информации. При дефиците времени это может привести к принятию неверных решений. Примером такой дифференциальной модели может служить совокупность контрольных шкальных приборов, устанавливаемых раньше в кабине лётчика. Поэтому при современных скоростях самолётов стремятся создавать совмещённые индикаторы (рисунок 2.6), однако, назвать их интегральной ИМ пока что нельзя.

Интегральная ИМ даёт общее, суммарное представление о функционировании ЭС, для этого в системе используют дополнительные блоки обработки первичной информации. Например, разработаны т. н. аналоги (рисунок 2.7) – индикаторы, дающие условные изображения взлётно-посадочной полосы или «дороги» при движении объекта. Хотя изображение и проецируется на электронно-лучевом индикаторе, однако оно не является телевизионным.

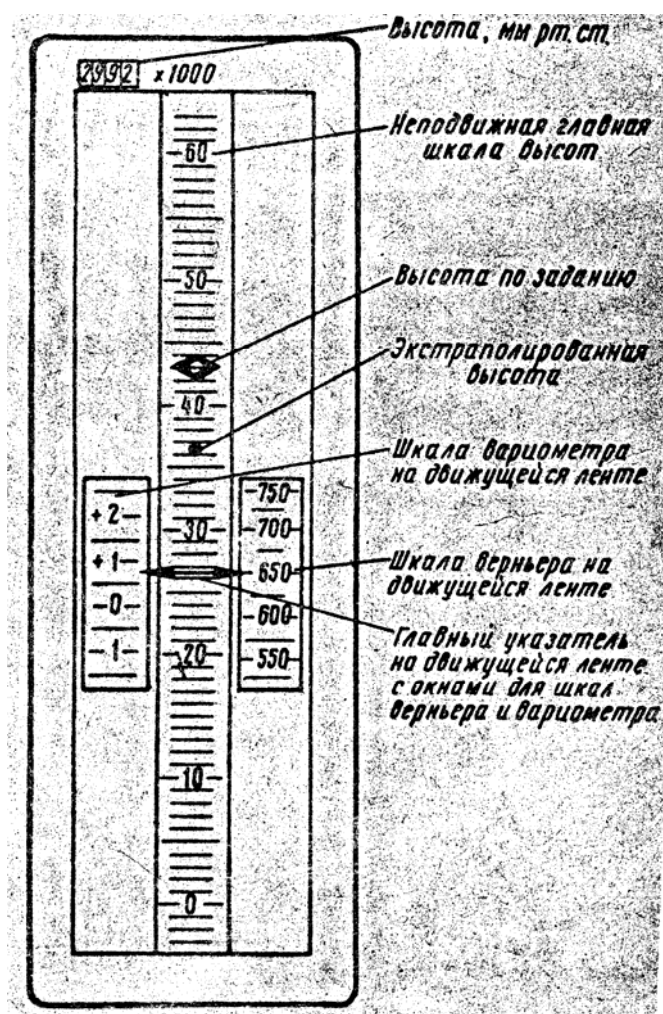


Рисунок 2.6 - Совмещённый самолётный индикатор

Основное преимущество коналогов состоит в том, что они позволяют использовать основное свойство восприятия — предметность. Кроме этого, рассмотренный выше тип коналогов позволяет освободиться от восьми отдельных индикаторов. Другой особенностью коналогов является также

то, что они предусматривают и получение точной количественной информации либо «по вызову», либо с помощью дополнительных периферийных индикаторов, обрамляющих коналог.

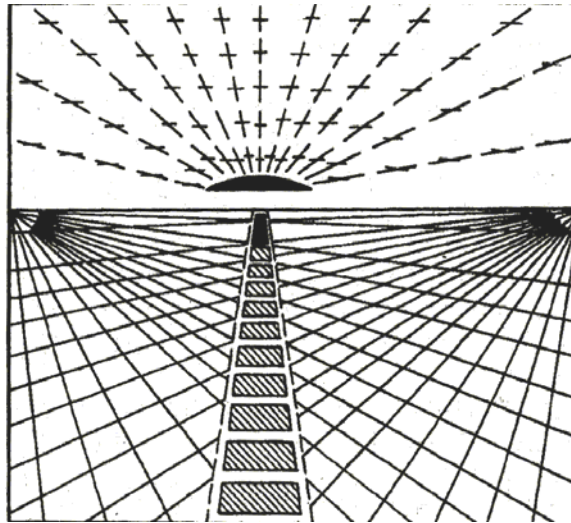


Рисунок 2.7 - Совмещённый самолётный индикатор коналог

Свойства ЭС определяются свойствами основных её звеньев, а именно, оператора и «машины». Отметим некоторые из них, по которым оператор или машина превосходят друг друга при выполнении определённых функций.

Оператор превосходит «машину» в следующих функциях:

- обнаружении слабых световых и звуковых сигналов;
- восприятию, интерпретации и организации сигнальных образов различных модальностей;
- осуществлении гибких операций управления;
- хранении большого количества информации в течении длительного времени и её использовании в нужный момент;
- образовании индуктивных умозаключений;
- изменении показателей в результате обучения;

- формировании понятий и выработке методов;
 - организации и объединении показаний входов, различных по модальности, по параметрам.
- «Машина» превосходит человека-оператора:*
- быстротой ответа на сигнал;
 - способностью применять плавно и точно большую силу;
 - выполнением повторных стереотипных действий и задач;
 - хранением информации в сжатой форме и полным освобождением от ненужной информации;
 - скоростью расчётов;
 - способностью выполнять одновременно несколько различных функций.

Прежде чем более подробно остановиться на параметрах оператора и технических средств и их согласовании, отметим некоторые общие правила разработки ЧМС:

1. При разработке ЭС необходимо применять системный подход, а именно:

а) выяснять взаимосвязи и свойства совокупности объектов, входящих в систему, в том числе и оператора;

б) создавать и применять такие системы, которые давали компромиссы между «машиной» - оператором – средой для оптимизации основной целевой функции всей системы («получить оптимальную систему из всех оптимальных звеньев невозможно»);

2. Несмотря на совместное выполнение функций оператором и «машиной», каждая из таких составляющих ЭС подчиняется в своей работе собственным, свойственным ей принципам и закономерностям;

3. Необходимо помнить, что оператор «не любит крайностей»: ему плохо работается как при дефиците, так и при избытке времени (информации), как при ярком освещении, так и в темноте и т. д.

4. Система должна быть сконструирована так, чтобы оператор мог непрерывно принимать участие в её функционировании на уровне, соответствующем его возможностям (низкий уровень интереса к работе и морального состояния оператора может быть связан с двумя причинами: когда аппаратура требует высокой квалификации от низкоквалифицированного оператора и, наоборот, низкой квалификации от высококвалифицированного оператора);

5. Максимальная автоматизация не всегда полезна; думающий оператор занимает центральное место в системе; поэтому задача состоит в том, чтобы показать, что система поддается высокой автоматизации, а в том, чтобы доказать, что она нуждается в ней; машина служит не для вытеснения и замены оператора, а для умножения его мощи и способностей.

В заключении рассмотрим вопросы распределения функций в ЧМС. При проектировании любой радиоэлектронной системы, будь то радиолокационная станция, система ближней навигации, контрольно-испытательная аппаратура или просто электронные часы, мы, по существу, решаем задачу распределения функций между человеком и РЭС. Обоснование рационального или оптимального варианта распределения этих функций опирается на результаты количественных оценок качества выполнения задач оператором и РЭС и методы оценок влияния этого качества на эффективность системы в целом. В результате распределения функций между оператором и РЭС могут быть получены исходные данные для обоснования объема информации, вида её предъявления, скорости и способа её обработки.

Функции человека в системе «оператор - РЭС» достаточно разнообразны и определяются особенностями РЭС. В системах обнаружения сигналов (например, локационный обзор участка пространства) человек осуществляет обнаружение, наблюдение, классификацию сигналов с помощью тех признаков, которые учтены автоматизированным устройством системы; получение

информации и её согласование с пропускной способностью каналов связи. Диспетчерские системы обеспечивают следующие функции человека: выдачу и редактирование исходных данных; выдачу команд и пуск системы; принятие решений в неопределённых ситуациях; прогнозирование обстановки при её изменении; выбор целей в зависимости от обстановки; операции контроля за работой системы.

Системы слежения позволяют определить «свой – чужой» объект, следить за сигналами с помощью признаков, не учтённых в каналах автоматической обработки информации, принимать решения в аварийных ситуациях.

Функция человека в системах связи можно определить следующим образом: выбор каналов связи в зависимости от обстановки, выделение значимой информации и её классификация по приоритету, обеспечение слуховой радиосвязи, передача информации.

В контрольно-испытательных системах (стенды, пульты) оператор должен определять виды программ автоматической проверки системы и выдавать команды на их пуск, оценивать результаты проверки стенда, выборочно проверять состояние и функционирование узлов и частей системы при отсутствии информации о неисправностях, диагностировать вид неисправности и её причины, принимать решения о мерах по восстановлению системы.

2.3.2 Психологические характеристики и параметры человека-оператора

Человек воспринимает поступающую из окружающей среды информацию с помощью органов зрения, слуха, осязания, вкуса, обоняния, болевых чувствительностей. Каждый из этих органов имеет свой «порог чувствительности», «пропускную способность» и «область применения» в ЭС. Различают т. н. «сенсорный вход» человека-оператора (зрение, слух, вкус, осязание, обоняние и т. п.) и «моторный выход» - рабочие движения рук, ног,

туловища, характеризующиеся пространственными, временными и силовыми показателями.

Отметим некоторые общие свойства сенсорного входа человека-оператора.

Первое свойство. Человек не может решать простую задачу на различение одиночных моносигналов, если их число превышает 7 («магическое число 7 ± 2 »). В одном из опытов испытуемым предлагали различать по частоте тона в диапазоне от 100 Гц до 8 кГц. Ошибок не было при 2...3 тонах, предъявляемых отдельно. При 4 тонах начали появляться случайные ошибки. При 5 тонах число ошибок возросло, а при 14 тонах была сплошная путаница. Аналогичны опыты со зрением, с кожной и с вкусовой чувствительностью дали примерно такие же результаты.

Второе свойство. При усложнении информации (увеличении числа признаков сигналов, например, оттенка и насыщенности цветовых раздражителей) количество воспринимаемой информации увеличивается (с 7 до 11...15 цветов).

Третье свойство. Наибольшей пропускной способностью информации обладает зрительный аппарат (5 дв. ед./сек), затем слуховой (0,3 дв. ед./сек), которые наиболее и применимы в ЭС.

Четвёртое свойство. Перекодирование информации резко изменяет пропускную способность сенсорного входа оператора. Пример: дана последовательность знаков в двоичных выражениях (0 и 1): «101000100111001110», которую запомнить и воспроизвести весьма трудно. Если обозначить: 00 – 0; 01 – 1; 10 – 2; 11 – 3, тогда получим: «220213032», что запоминается легче, но всё также с трудом. Если же ввести обозначения: 000 – 0; 001 – 1; 010 – 2; 011 – 3; 100 – 4; 101 – 5; 110 – 6; 111 – 7, то получим: «504716», запомнить которое весьма просто.

Пятое свойство. Перегрузка информацией и дефицит времени снижают способность операторов. В одной из лабораторий американских космических исследований

изучали работу операторов в кабине космического тренажёра. Испытуемым подавали световые сигналы, на которые они должны были отвечать определённым образом. Если сигналы подавать один раз в 9-10 секунд, то операторы работали нормально; когда же темп подачи информации возрос в 10 раз (сигнал в секунду), то наблюдалась перегрузка информацией (пропуски, неверные ответы). Интересно, отметить, что когда темп уменьшили в 10 раз по сравнению с нормальным, то пропуски и отказы также участились.

Отсюда следует, что наибольшая чувствительность и пропускная способность сенсорного входа человека является функцией частоты подачи (приёма) информации.

Глаз человека обладает рядом свойств, которые необходимо учитывать при конструировании РЭА и, в частности, индикаторов.

Различают *абсолютный* и *дифференциальный* (контрастный) *пороги чувствительности глаза*.

Абсолютным порогом световой чувствительности глаза называют минимально обнаруживаемую величину яркости светового пятна на чёрном фоне в условиях отсутствия какого-либо освещения. Он лежит в диапазоне $10^{-6} \div 10^{-5}$ кд/м². Это означает, что световые ощущения в условиях абсолютной темноты могут быть вызваны лучистой энергией всего в несколько квантов.

Диапазон яркостей, которые воспринимает глаз, имеет порядок 10^{12} . Вполне естественно, что при таком изменении яркости глаз должен обладать известной *адаптацией*. Изменение чувствительности глаза по мере пребывания оператора в темноте называют *темновой* адаптацией. Причём увеличение световой чувствительности происходит в первые моменты времени непрерывно и устанавливается на постоянном уровне лишь спустя 60-80 минут. Под *световой* адаптацией глаза понимают изменение чувствительности, происходящее при увеличении яркости поля адаптации от нулевого до некоторого заданного. При этом происходит понижение световой чувствительности, и постоянный уровень

устанавливается примерно через 5-10 минут в зависимости от яркости адаптации.

Различают по величине яркости поля адаптации дневное освещение ($B \geq 10$ кд/м²), сумеречное ($0,01$ кд/м² $< B < 10$ кд/м²) и ночное ($B \leq 0,01$ кд/м²). Операторы РЛС обычно работают при ночном или сумеречном освещении, а операторы устройств отображения информации – при сумеречном или дневном.

Если оператор работает в условиях, далёких от абсолютного порога световой чувствительности, то возможность раздельного видения предметов определяется не абсолютной чувствительностью глаза, а его способностью различать локализованные в отдельных местах *контрасты яркости*. Чаще всего для определения контраста используют соотношение:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_2}, \quad (2.7)$$

где B_1 - яркость объекта, наблюдаемого на фоне с яркостью B_2 .

Если $B_1 < B_2$, то контраст называется прямым, если $B_1 > B_2$, то обратным.

Применительно к задаче обнаружения сигналов целей на индикаторах с лучевым экраном более удобно пользоваться выражением:

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}. \quad (2.8)$$

Так как яркость отдельных точек экрана, образующих фон, является случайной величиной, и при решении задачи обнаружения оценке подлежит лишь факт наличия контраста.

Сигнал в одной из двух сравниваемых точках обнаруживается оператором при условии, если

$$|K| = K_0, \quad (2.9)$$

где K_0 - порог контрастной чувствительности глаза при заданных условиях наблюдения.

Порог контрастной чувствительности глаза изменяется с изменением яркости поля адаптации и оказывается неразрывно связанным с такими характеристиками зрительной системы, как инерция зрения и острота зрения. Порог видимости зависит от следующих величин: контраста, углового размера цели, яркости поля адаптации и времени наличия цели. В каждом конкретном случае мы говорим лишь о какой-либо одной пороговой величине, потому что остальные три при проведении опыта формируются заранее.

Временный порог чувствительности глаза оператора – это минимально необходимое время существования отметки для её зрительного восприятия. Эта величина колеблется в пределах тысячных и сотых долей секунды. Она зависит от инерции зрения, которая, в свою очередь, определяется яркостью фона. Отметим, что с увеличением освещённости уменьшается время инерции глаза и порог контрастной чувствительности. При этом острота зрения увеличивается. Остроту зрения или разрешающую способность глаза характеризуют порогом разрешения – минимальным угловым промежутком между равноудалёнными точками, при котором они воспринимаются глазом ещё отдельно. Предельный угол разрешения L' имеет порядок нескольких десятых угловой минуты. Связь между ним и величиной K_0 определяется формулой:

$$L' = c \cdot K_0,$$

где L' – предельный угол разрешения,
 K_0 – порог контрастной чувствительности глаза при заданных условиях работ,
 c – постоянная, не зависящая от яркости поля адаптации.

Таким образом, острота зрения является функцией контрастной чувствительности глаза.

Глаз человека различает объекты не только по яркости, но и по цвету. Величина, обратная интенсивности лучистой энергии, необходимой для вызывания у человека впечатления некоторой определённой яркости, и характеризующая *чувствительность глаза к излучению на той или иной частоте (к цвету)*, называется *видностью*. Зависимость видности зрения от цвета представлена в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

Цвет	Длина волны, мм	Видность
Красный	687	0,017
Оранжевый	589	0,75
Жёлтый	580	0,87
Зелёный	527	0,71
Голубой	486	0,14
Синий	430	0,013
Фиолетовый	397	0,004

В условиях сумеречного зрения зависимость видности от длины волны (цвета) несколько смещается в сторону уменьшения длины волны, т. е. максимум чувствительности из жёлтой области перемещается в зелёную область.

Спектральная чувствительность глаза обязательно должна учитываться при выборе ЭЛТ или индикатора устройств отображения для того, чтобы путём согласования спектра излучения люминофора и полосы пропускания

применяемых светофильтров обеспечить наилучшие условия передачи информации оператору.

Надо также иметь в виду, что как при значительном увеличении яркости, так и при значительном её ослаблении число различных цветовых типов уменьшается. Это особенно важно для индикаторов РЛС с цветовой индикацией.

Значительным фактором в восприятии оператором РЛС отметок целей является *задача обнаружения и способ их кодирования*. В таблице 2.7 в зависимости от задачи и способа кодирования представлена средняя длительность фиксации t_{cp} (время остановки глаз оператора на отметке).

Таблица 2.7.

Задача	t_{cp} , с
Поиск простых геометрических фигур	0,2
Поиск условных знаков	0,3
Поиск цели на экране ИКО	0,37
Обнаружение изменений в обстановке на экране ИКО	0,55
Ознакомление с обстановкой на экране ИКО	0,64

2.4 Рабочая зона оператора

2.4.1 Формы рабочих зон

Рабочей зоной оператора обычно являются панели РЭА, на которых размещаются те или иные средства отображения информации и органы управления. Панели оператора размещают таким образом, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линии взора оператора, а органы управления находились в пределах досягаемости рук.

Формы размещения панелей бывают:

- полукруглая (многогранная), когда минимальный радиус полукруга равен 600 мм.

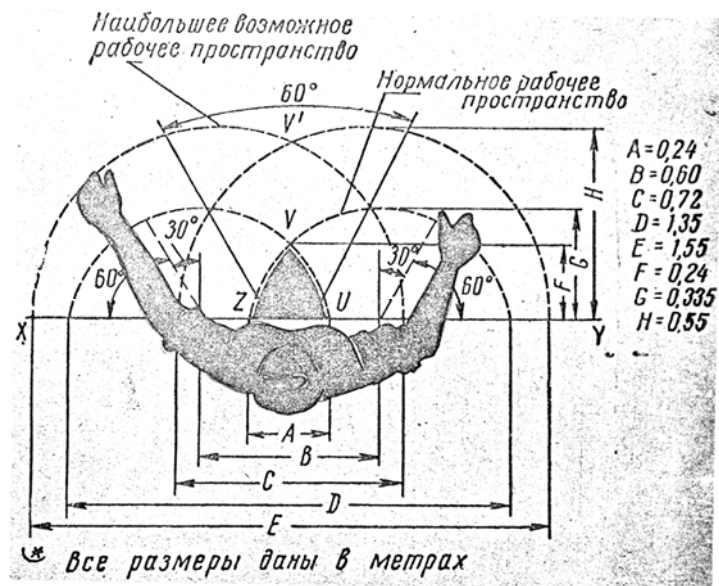


Рисунок 2.8 - Зона досягаемости оператора

2.4.2 Размещение органов управления

Размещение органов управления должно подчиняться следующим общим правилам:

1. Количество и траектории рабочих движений должны быть сокращены до минимума,
2. Органы управления надо располагать так, чтобы правой рукой выполнять наиболее ответственные операции, например, установку частоты, фокуса и т. п.
3. Если орган управления находится рядом с индикатором, то ручка, управляемая правой рукой, должна находиться правее и ниже, а ручка управляемая левой рукой, - левее и ниже индикатора,
4. Последовательно используемые органы управления надо располагать на одной высоте слева направо или сверху вниз в вертикальных столбцах,
5. Основные органы управления целесообразно размещать в оптимальной зоне, аварийные – в средней зоне досягаемости руки и второстепенные в зоне максимальной досягаемости.

2.4.3 Размещение средств отображения

Индикаторы зрительной информации рекомендуется размещать в оптимальных участках поля зрения, которые характеризуются в горизонтальной плоскости углом $30 - 40^\circ$ и $0-30^\circ$ вниз от линии взора. Наиболее важные индикаторы располагают на уровне глаз оператора или ниже. Рекомендуемое расположение индикаторных приборов на панелях стендов показано на рисунке 2.9.

Существуют некоторые общие принципы размещения приборов на панели, а именно:

- принцип функциональной организации, когда приборы группируют исходя из общности выполняемых задач,
- принцип значимости, когда наиболее важные приборы, даже при редком их использовании, располагают в центре панели,
- принцип последовательности, когда приборы размещают строго согласно схеме их последовательного использования.

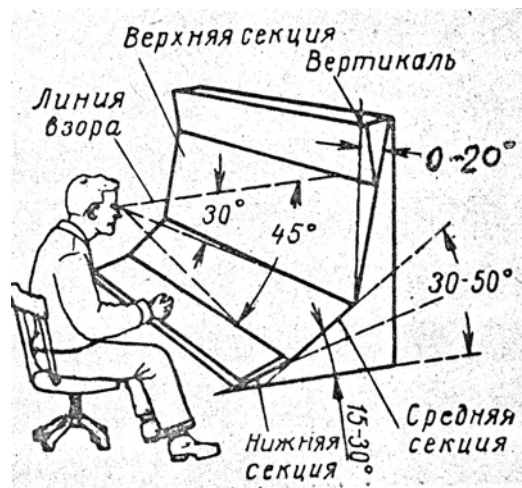


Рисунок 2.9 - Рекомендуемое расположение индикаторных приборов на панелях пультов (стендов)

Следует добавить, что для повышения восприятия информации, представленной в виде букв, знаков и символов, индикаторы рекомендуют располагать в верхнем левом углу прибора, что объясняется навыками чтения.

2.4.4 Выбор типа индикаторных приборов

Индикаторные приборы РЭА могут быть стрелочными, осциллоскопическими, в виде светового табло, сигнальных ламп и мнемосхем. При этом применяется как знаковая, буквенная, буквенно-цифровая, цветовая кодовая индикация, а также индикация символами, расположением и направлением.

При выборе стрелочных индикаторов необходимо обращать внимание на тип шкалы, её форму, размер, оцифровку, цену деления, а также на расположение и вид стрелок, указателей.

Шкалы бывают двух типов: неподвижная шкала с движущейся стрелкой и подвижная шкала с неподвижным визиром. По своей форме шкалы различаются на круглые,

полукруглые, прямоугольные горизонтальные и вертикальные, шкалы типа «открытое окно» (рисунок 2.10).

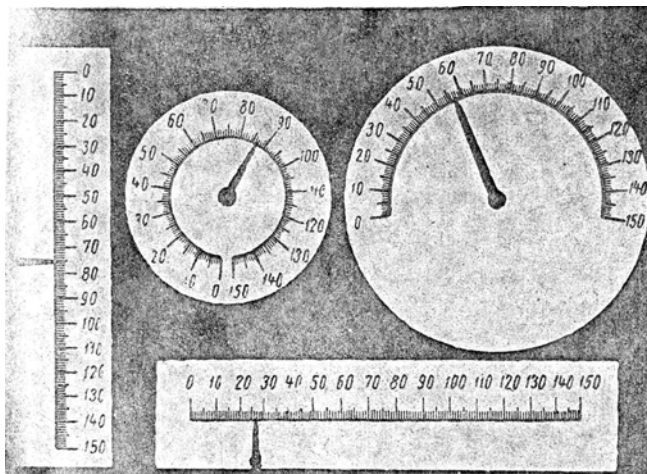


Рисунок 2.10 - Формы шкал

При выборе типа и формы шкалы необходимо учитывать, что:

1. При малом времени считывания показаний (менее 0,5 сек) рекомендуется применять подвижные шкалы с неподвижным указателем, при этом отсутствуют поисковые движения глаз и условия считывания приближаются к условиям считывания счетчика; при увеличении времени считывания меньшими ошибками считывания обладают неподвижные шкалы с двигающейся стрелкой,

2. Применение шкал типа «открытое окно» рекомендуется для определения точных количественных данных; при этом обеспечивается самая высокая точность считывания (0,5% при времени считывания 0,12 сек); для других форм шкал точность считывания значительно меньше (круглая – 10%, линейно-горизонтальная – 27%, линейно-вертикальная – 35%),

3. Точность и скорость считывания зависит не только от формы шкалы, но и её размера; установлено, что при увеличении диаметра шкалы точность вначале возрастает, а затем падает; оптимальный диаметр круглой шкалы составляет 40÷60 мм; точность считывания с горизонтальных шкал до 150 мм примерно равна точности считывания с круглых шкал, а с увеличением до 250 мм резко падает,

4. Выбор типа и формы шкалы предопределяется также её назначением; для установки заданной величины параметра рекомендуют применять неподвижные горизонтальные шкалы либо подвижные круглые или полукруглые; для контрольного чтения лучшим является цифровой счетчик или шкала типа «открытое окно»; для качественного чтения применяют круглые шкалы с подвижным указателем (больше – меньше); для поверочного чтения (в допуске – не в допуске) рекомендуют круглые шкалы с движущейся стрелкой и цветовым сектором поля допуска.

Оцифровка шкал включает в себя выбор числа и размеров отметок шкал, выбор шрифта начертания знаков. Отметки на шкалах чаще всего выполняют в виде штрихов, реже – в виде точек. Они подразделяются на главные, средние и малые. Главные отметки оцифровываются. Оптимальная длина интервала между главными отметками равна 12,5÷18 мм. Высота главных отметок должна равняться 0,5÷1 от длины интервала между ними, толщина - 5÷10% от него. Выбор числа мелких отметок в основном интервале определяет цену деления, наилучшими считаются шкалы с ценой деления 1, 5, 10. Минимальный интервал между мелкими отметками равен 1,5 мм, оптимальный - 4÷5 мм. Высота мелких делений составляет примерно 0,5 высоты главных. Начертание цифр должно быть простым, с применением прямых линий. Лучшими шрифтами считаются шрифты Макворта и Бергера. Цвет знаков должен резко контрастировать с фоном шкалы, который рекомендуется сделать матовым. Обычно применяют черный цвет на белом матовом фоне, но может применяться и обратное сочетание для приборов при слабой освещённости.

Поверхность шкалы не должна быть темнее поверхности панели, в то время как каркас (футляр) индикатора может быть темнее (но не чёрным и не гладко отполированным).

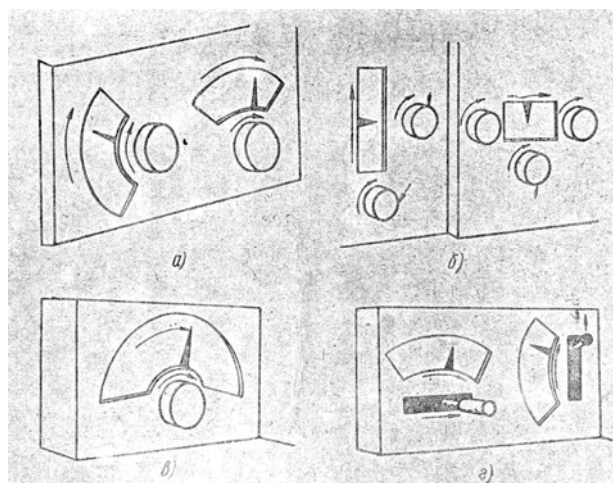


Рисунок 2.11 - Варианты расположения шкал, указателей, ручек управления и направления их движения

2.4.5 Рекомендации по оформлению лицевой панели

Проектирование практически всех обслуживаемых РЭС должно производиться с учётом взаимодействия радиоэлектронного средства с человеком-оператором. Это взаимодействие подразумевает решение следующих задач:

- 1) избирательное восприятие и приём информации;
- 2) переработка полученной информации;
- 3) принятие решения (в соответствии с инструкцией, алгоритмом действия, созданием образа ситуации и т. д.);
- 4) выполнение физических действий на основе принятых решений (переключение, регулировка и т. д.);
- 5) проверка результатов путём принятия новой информации.

Если этим цель воздействия не достигнута, то весь цикл повторяется.

Проектирование РЭС должно вестись на основе изучения деятельности и психофизических возможностей человека-оператора, а также путей и методов согласования РЭС и оператора и вытекающих из этого требований к РЭС.

Взаимодействие человека с РЭС осуществляется в основном через лицевую панель (ЛП) или специальный пульт, на котором можно выделить:

- а) средства отображения информации (СОИ) – измерительные приборы, различные индикаторы, электронно-лучевые трубки, световые табло;
- б) органы управления (ОУ) – тумблеры, переключатели, регуляторы;
- в) элементы коммутации – разъёмы, гнёзда, клеммы, штекера;
- г) конструктивные элементы – ручки, фиксаторы, экраны;
- д) поясняющие надписи, символы, мнемосхемы.

При конструировании лицевых панелей решается круг задач, связанных как с размещением на заданной площади всех составных частей, отвечающих требованиям эргономики, так и создание художественного образа изделия, отражающего влияние моды, требования рынка.

Некоторые варианты расположения шкал, указателей и ручек управления, а также направления их движения показаны на рисунок 2.11.

Эргономические показатели качества разработки лицевой панели оцениваются по удобству обслуживания, его оперативности и безопасности. Эргономические показатели можно разбить на следующие группы:

- гигиенические (освещённость, напряжённость электрического и магнитного полей, шум, вибрация и т. д.);
- антропометрические (соответствие форме, размерам тела человека и распределению по массе);

- физиологические и психофизиологические (соответствие силовым, скоростным и энергетическим возможностям человека и возможностям его зрительного, слухового и осязательного аппаратов);

- психологические (соответствие закреплённым и вновь формируемым навыкам человека и его возможностям по восприятию и выработке сигналов управления).

Разработка лицевых панелей должна быть нацелена на создание оптимальных условий работы человека-оператора, учитывающих его возможности как одного из звеньев системы «человек-машина».

Контрольные вопросы.

- 1) Как влияет температура на ЭС?
- 2) Влияние влажности на ЭС.
- 3) Требования к ЭС летательных аппаратов.
- 4) Каким образом влияет пыль и песок на ЭС?
- 5) Разновидности фонового излучения.
- 6) Вредные факторы биологической среды.
- 7) Где при конструировании ЭС учитываются электрохимические потенциалы металлов?
- 8) Какими показателями оцениваются эффективность ЭС?
- 9) Какие основные положения системного подхода?
- 10) Что такое компоновка ЭС? От каких факторов она зависит?
- 11) Дайте определение «эргономике».
- 12) Приведите пример человеко-машинных систем.
- 13) Сенсорный вход человека-оператора.
- 14) Характеристики зрительной системы человека-оператора.
- 15) Моторный выход человека-оператора.
- 16) Форма рабочего места человека оператора.
- 17) Какие Вы знаете средства отображения информации.

- 18) Устройства управления, применяемые в пультах.
- 19) Антропометрические параметры человека-оператора.
- 20) Психофизиологические параметры человека оператора.
- 21) Роль человека-оператора в человеко-машинных системах.

3 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Рассматриваемые вопросы:

- 3.1. Характер и вид конструкторских работ и организация творческой работы
 - 3.1.1. Характер и вид конструкторских работ
 - 3.1.2. Организация творческой работы конструктора
 - 3.1.3. Общая методология конструирования ЭС
- 3.2. Стадии разработки ЭС
- 3.3. Выбор метода конструирования
- 3.4. Конструкторская документация

3.1 Характер и вид конструкторских работ и организация творческой работы

3.1.1 Характер и вид конструкторских работ

Характер и вид конструкторских работ очень разнообразны, т. к. зависит от характера деятельности предприятия (НИИ или заводской КБ), степени унификации конструкторских решений (высокая или низкая), соотношения лаборант/конструктор (чем больше лаборантов, тем труднее вести разработку конструкции), уровень их знания по данной разработки, технической оснащенности КБ, его структуры, требуемой сложности и оригинальности конструкторской разработки, и от существующих в КБ традиций.

Общим в конструкторских работах является их разделение на творческую, технологическую,

организационную, производственную и корректировочную деятельность.

Творческая – изучение технического задания (ТЗ), сбор исходных данных, оценочные расчеты, компоновочные эскизы, разработка и согласование чертежа общего вида изделия с заказчиком.

Техническая – выпуск комплекта конструкторской документации (КД) с разработкой узловых и сборочных чертежей и их детализацией, выполнение габаритных и монтажных чертежей и текстовых документов.

Организационная – руководство исполнителями, проверка, корректировка и согласование КД, передача КД в центральный технический архив (ЦТА).

Производственная – сопровождение изделия в производстве, отработка конструкции и технологического процесса.

Корректировочная – корректировка и доработка КД, завершение разработки КД, передача КД в цехи опытного производства или на заводы-изготовители.

На рисунке 3.1 приведено примерное соотношение по трудоемкости работы конструктора. На рисунке приняты следующие обозначения: НИИ – научно-исследовательский институт, ТК – типовые конструкции, КБ – конструкторское бюро.

Для успешного решения задачи конструирования РЭС специалист (от конструктора делающего задание на детализацию узла до руководителя конструкторских служб) должен работать по определенной и цельной системе. Это обеспечивается соблюдением норм должностных инструкций и «Положений» о существе работы каждого подразделения. За выполнение одной функции должен полностью отвечать один работник. При этом не следует выполнять работу, которую может и должен выполнить подчиненный. При планировании надо четко продумывать место данной работы в общем плане, обеспечивая в первую очередь, выполнение работ для смежников с приоритетом тех работ, значение выполнения

которых может быть причиной задержки всей работы. Частые реформы не упрощают, а затрудняют выполнение работы из-за разрыва старых и введения новых связей, различных пересогласований и потери ответственности у специалистов целых подразделений.

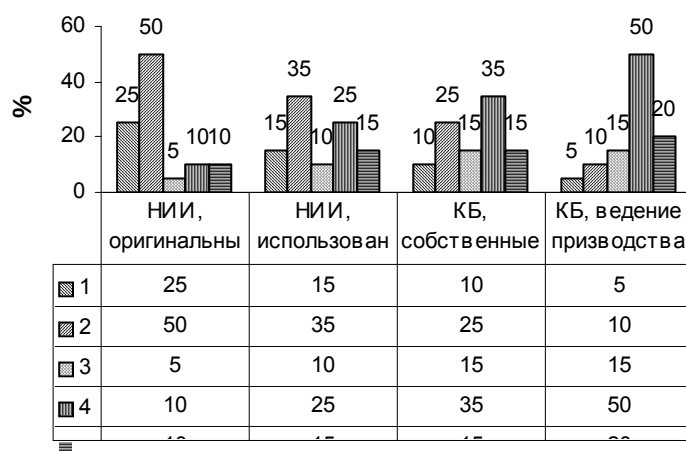


Рисунок 3.1 Примерные соотношения по трудоемкости работы конструктора: 1 – творческая работа; 2 – техническая работа; 3 – организационная работа; 4 – производственная работа; 5 – корректировочная работа

Каждое подразделение и каждый конструктор должен иметь *текущий и перспективный план с четкой формулировкой конечного результата работы*. Решение одного иерархического уровня не должно переноситься на другой, ибо это вызывает безответственность в работе. Решение, не удовлетворяющее смежников, должно быть немедленно доведено до руководства с кратким и четким обоснованием причин.

Правильная организация работы, подбор и расстановка кадров создает нормальную творческую и рабочую

обстановку, дает удовлетворение от работы, обеспечивает сведение к минимуму стрессовых ситуаций и способствует, как минимум, повышению качества и производительности труда на 25-30%.

Наиболее характерные причины нарушения нормального течения творческого процесса являются: ненормальные взаимоотношения, неупорядоченность деловых отношений между руководителями и подчиненными, незнание должностных инструкций и положений, чрезмерное число и продолжительность совещаний с привлечением тех сотрудников, чье присутствие вовсе не обязательно, отвлечение специалистов на неквалифицированные работы, отклонение от норм трудовой дисциплины, недостаточная подготовленность к данной конкретной работе.

3.1.2 Организация творческой работы конструктора

Новая конструкция вначале формируется в сознании конструктора в виде мысленного образа изделия (МОИ), который отображается затем в графической форме как чертеж общего вида изделия (И). Изображение на чертеже – аналоговая модель И, дополняемая текстовыми пояснениями и расчетами.

Аналитическая стадия. Выполнение расчетов определяющих параметров идеализированной конструкции в целом и по характерным частям и проверка их соответствия требованиям ТЗ, проработка эскизных вариантов конструкции, оценка факторов, мешающих созданию идеального И или его части, выявление причин, определяющих возможность ликвидации мешающих факторов. *Результат:* формулировка путей решения задачи.

Поисковая стадия. Выбор наиболее целесообразных путей решения, уточнение конечной задачи конструирования, определение возможности решения данной задачи конструирования другим путем (где заданный эффект может быть получен простыми способами), оценка эффективности

выбираемых решений и формулировка требований к ним, оценка ожидаемой эффективности конструкции И, учет дополнительных требований. *Результат*: уточнение или замена исходной задачи на задачу с более четкой формулировкой ее внутреннего технического противоречия.

Формулировочная стадия. Уточнение условий задачи, анализ патентной и другой литературы, оценка возможности решения при пренебрежении к затратам, изменение задачи при уменьшении требуемого показателя почти до нуля, изменение задачи при увеличении требуемого показателя во много раз, формулировка сути задачи без специальных терминов. *Результат*: четкая формулировка задачи конструирования И.

Стадия повторного анализа. По результатам проведенных уточнений предыдущих стадий выполняется построение идеальной конструкции И на базе реальных конструктивных материалов и условий с учетом реальных помех в решении задачи, оценки их непосредственных причин и возможностей устранения помех решению. *Результат*: четкая формулировка технических противоречий и путей их преодоления.

Стадия оперативного анализа. Оценка возможности устранения технического противоречия по методике АРИЗ*, проверка возможности изменений в окружающей среде при работе И, оценки решения задачи при изменении окружающих факторов или смене объектов, проверка возможных изменений во времени, бионические и другие прототипы решения подобной задачи. *Результат*: нахождение основного варианта решения задачи конструирования И.

Стадия вариационного анализа. Вариация параметров отдельных частей И, вариации свойств окружающей среды и объектов, изменение методов использования И, оценка полученных вариаций. *Результат*: формулировка уточнений для окончательного решения задачи.

*) Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1973.

Итоговая стадия. Конструкторские расчеты и разработка общего вида И с последующей детализацией и описанием. Результат: комплект КД на И.

3.1.3 Общая методология конструирования ЭС

Конструирование в своем развитии прошло ряд этапов и продолжает развиваться в настоящее время. Первыми конструкторами были ремесленники. Вся информация о конструкции содержалась в самом изделии. Создание чертежного метода конструирования позволило отделить конструктора от производственника, осуществить разделение труда как между производственниками и конструкторами, так и между работниками внутри каждой группы (конструкторов и производственников).

Высокая сложность электронной аппаратуры, большое число факторов, учитываемых при ее конструировании, и возможных вариантов конструкции выдвинули требование разработки новых методов конструирования, которые позволили бы осуществить еще большую концентрацию разработчиков, еще большее разделение труда при одновременном увеличении эффективности контроля процесса конструирования за счет формализации выбора наилучших конструктивных решений. Это привело к созданию новых методов конструирования, основанных на таких дисциплинах, как системотехника, методы исследования операций, теория решений, сетевое планирование, эргономика, техническая эстетика и многих других из новейших отраслей науки, техники, искусства.

Весь комплекс задач, решаемых конструктором, можно разделить на две группы:

1) генерация возможных вариантов конструкции (комбинация сочетаний исходных данных – факторов и связей между ними);

2) анализ и оценка каждого варианта конструкции для выбора наилучшего.

Генерация вариантов. Если известны все исходные данные, то генерацию вариантов можно формализовать. При этом можно использовать ЭВМ. Очевидно, не все варианты будут одинаково хороши, однако надо рассмотреть все и выбрать наилучший. Подобное решение задачи «в лоб» обычно не эффективно из-за больших затрат времени. Умственные способности человека, его творческие возможности позволяют решить задачу другими методами, позволяющими вести поиск при неполном комплекте факторов, сузить поле поиска, увеличить эффективность поиска оптимального варианта. Установлено, что человек, способный предложить большое число идей за единицу времени, имеет больше шансов выдать действительно ценные идеи. В настоящее время известно несколько способов, позволяющих увеличить эффективность генерации идей, в том числе: диаграмма идей, матрица идей, ассоциации, инверсия, метод мозгового штурма, синектика.

Использование *диаграммы идей* основано на том, что очень трудно думать одновременно о нескольких вещах, хотя глаз может воспринимать одновременно бесконечное множество предметов и отличать их один от другого. Это позволяет представить возможные варианты в виде некой диаграммы для последовательного анализа с целью выделения наиболее перспективных. При этом можно обнаружить возможность создания новой конструкции за счет неисследованных сочетаний. Примером диаграммы идей является любая классификация, например структурная схема тактико-технических требований к МЭА.

Наиболее эффективное средство учета различных вариантов *матрицы идей* основано на возможности упорядочения перебора вариантов.

Допустим, что на выбор конструкции МЭА влияют три группы факторов: геометрия корпуса ИС (плоский, цилиндрический, кубический), вид конструкции блока (кассетный, книжный, веерный), тип конструкции электромонтажа (жесткий печатный монтаж, монтаж

объемным проводом, монтаж с использованием гибкого печатного кабеля). В этом случае матрицу идей можно представить в виде куба, нижняя сторона которого содержит факторы одной группы. Каждый маленький кубик является вариантом конструкции. В данном случае их 27. Введение ограничений позволяет сократить область возможных решений. Например, при выборе монтажа объемным проводником и ИС в цилиндрическом электромонтажном корпусе число рассматриваемых вариантов конструкции уменьшается до 3 и определяется видом конструкции блока.

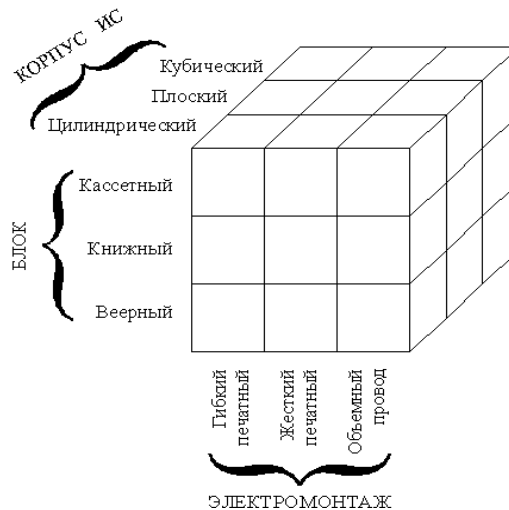


Рисунок 3.2 - Матрица идей

Ассоциация – этот метод основан на способности человека преобразовывать полученную ранее информацию в вид, который обеспечивает ее использование для новых условий, т. е. использование связи идей. Этот метод наиболее эффективен в том случае, когда творческое воображение может обращаться к другим идеям и одна творческая идея возникает на основе другой. Примером является использование медицинского шприца подачи

герметизирующего компаунда в труднодоступные места МЭА или использование конструкции антенны РЛС в виде структур ячейистой конструкции (типа пчелиных сот).

При инверсии задача исследуется с позиций, прямо противоположных принятым. Например, конструктору задано расположение аппаратуры на объекте, форма и размеры отсека. Конструктор видит, что он не может создать конструкцию при заданных требованиях. В этом случае он может проанализировать размещение других устройств в отсеке, предложить новый вариант размещения и новую форму своего блока.

Синектика – метод, основанный на увеличении продуктивности умственной работы человека при использовании аналогий. Обычно решение ищет группа специалистов. Например, руководитель группы ставит задачу обеспечения ремонтпригодности конструкции МЭА в условиях невесомости. Предлагается выполнить отверстие в куске пенопласта, подвешенного на нитке. Традиционные методы выполнения этой работы с помощью дрели не подходит. В конце концов кто-то из членов группы предлагает прожечь отверстие сигаретой. Далее группа исследует возможность использования этого принципа для реализации ремонтпригодной конструкции.

Метод *мозгового штурма* основан на возможности получения новых идей в результате творческого сотрудничества отдельных членов организованной группы. Реализация метода осуществляется в виде беседы, когда каждый участник свободно выдвигает предложения, а критика запрещена. Этот метод наиболее эффективен на начальных этапах конструирования, когда структура задачи еще не определилась. Наилучшие результаты получаются тогда, когда группа в пять-десять человек работает не более часа. Для проведения сеанса мозгового штурма руководителю нужен инициатор и магнитофон. Руководитель ни в коем случае не должен делать критических замечаний. Инициатором может быть один из членов группы. Если сеанс мозгового штурма

оказывается безуспешным, то это в основном вина руководителя. Лица, участвующие в мозговом штурме, заранее тщательно отбираются.

3.2 Стадии разработки ЭС

Существуют следующие стадии разработки:

Таблица 3.1

Этап	Документы
НИР	1. Техническое задание (ТЗ) 2. Техническое предложение «П» - (ГОСТ 2.118-73)
ОКР	3. Эскизный проект – «Э» ГОСТ 2.119-73 4. Технический проект «Т» – ГОСТ 2.120-73 5. Разработка рабочей документации (опытного образца, «О ₁ , О ₂ », установленных серий, «А», установившегося серийного или массового производства) «Б»

Примечание: 1) в кавычках представлены литеры документов; 2) НИР, ОКР - этапы работ, а именно НИР – научно-исследовательская работа, ОКР – опытно-конструкторская работа.

Техническое задание (ТЗ).

1. Полное наименование темы
2. Основание к исполнению темы
3. Исполнители
4. Предполагаемый завод-изготовитель
5. Цель и назначение работы (указываются краткие характеристики изделия, техникоэкономическое обоснование целесообразности разработки, область применения). Пример разработки ТЗ изложен в ГОСТ 25123-82

6. Состав аппаратуры

7. Тактико-технические требования

7.1. Основные тактические характеристики и параметры (например, для ЭВМ: быстродействие, разрядность, объём памяти и т. д. для радиоприёмника: отношение сигнал/шум, чувствительность, полоса частот F_{np} , выходная мощность P и т. д.)

7.2. Условия эксплуатации

7.3. Конструктивные и технологические особенности

7.4. Требования к стандартизации, унификации, микроминиатюризации

7.5. Долговечность и критерии надёжности

7.6. Габариты и масса

8. Порядок окончания работ (количество предъявляемых к госиспытаниям образцов, перечень техдокументации, предъявляемой по окончании работ, порядок испытания и приёмки образцов)

Техническое предложение

Техническое предложение – совокупность конструкторских документов, содержащих техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности разработки изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможной реализации изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов.

Техническое предложение (аванпроект) проводится, как правило, при выполнении НИР на сложные изделия при участии смежных организаций.

Основные задачи при разработке технического предложения:

1. Тактико-технико-экономическое обоснование целесообразности разработки.

2. Выяснение принципиальных путей и возможностей решения задачи, поставленной перед опытно-конструкторской работой (ОКР).

3. Составлении перечня теоретических экспериментальных работ, подлежащие исполнению.

4. Составление перечня смежных организаций – участников ОКР.

5. Уточнение общего объема работ, затрат и сроков выполнения

Техническое предложение после согласования и утверждения является основанием для разработки эскизного проекта.

Эскизный проект

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципы работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

На стадии эскизного проекта выполняются следующие работы:

1. Уточнение тактико-технико-экономического обоснования.

2. Выбор оптимальных вариантов и принципов построения схемы изделия

3. Обеспечение высокого уровня стандартизации и унификации.

4. Обеспечение высокой эксплуатационной надежности, сохраняемости, готовности, ремонтпригодности, технологичности.

5. Разработка структурной схемы, функциональной схемы.

6. Разработка или предварительная проработка принципиальных схем функциональных частей изделия.

7. Решение вопросов размещения, энергопитания, вентиляции, охлаждения, защищенности от внешних воздействий.

8. Проведение макетирования наиболее сложных узлов.

9. Уточнение технического задания по результатам эскизного проекта.

10. Определение номенклатуры и объема нестандартной контрольно-измерительной, регулировочной и испытательной аппаратуры и приспособлений.

11. Определение надежности изделия

Эскизный проект после утверждения является основанием для разработки технического проекта.

Технический проект

Технический проект – совокупность конструкторских документов, содержащих окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

Цель технического проекта – теоретическая и экспериментальная проверка схемных, конструктивных и технологических решений, а также разработка технологических решений, а также разработка техдокументации в объеме обеспечивающем последующем разработку конструкторской документации для опытного образца.

На стадии технического проекта выполняются следующие работы:

1. Разрабатывается упрощенная техническая документация

2. Изготавливаются экспериментальные образцы.

3. Проводятся испытания экспериментальных образцов по специальной программе

4. Проводиться уточненный расчет и оценка надежности

5. Проводится оценка ремонтпригодности

6. Рассчитывается технологичность и ремонтпригодность.

7. Оценивается степень соответствия современному уровню микроэлектроники и комплексной микроминиатюризации.

8. Оценивается степень унификации и стандартизации.
9. Оценивается эффективность средств контроля.
10. Проводится экономическое обоснование и рассчитывается ориентировочная себестоимость.

Технический проект после защиты и утверждения является основным для разработки рабочей конструкторской документации опытного образца.

Разработка рабочей конструкторской документации

Рабочая конструкторская документация опытного образца разрабатывается в объеме, установленном ЕСКД.

Опытный образец изготавливается с целью:

1. Окончательного определения технических и эксплуатационных характеристик изделия в процессе испытания.

2. Проверки эксплуатационной надежности

3. Проверки и отработки техдокументации.

Испытания опытных образцов бывают:

- 1) предварительные (заводские), документам присваивается литера «О₁», «О₂»,

- 2) государственные.

Для проведения испытаний создаются специальные комиссии из представителей различных технических служб. По результатам испытаний составляется акт.

После утверждения акта и корректировки документации по результатам госиспытаний изготавливается установочная серия изделий.

После изготовления и испытания установочной серии, корректируется техдокументация и оснащаются техпроцессы.

Далее документация пригодна для серийного производства.

3.3 Выбор метода конструирования ЭС

Конструирование может быть реализовано различными методами. Существующие методы конструирования ЭС подразделяются на три взаимосвязанные группы (рисунок 3.3):

- 1) по видам связей между элементами;
- 2) по способу выявления и организации структуры связей между элементами;
- 3) по степени автоматизации выявления структуры связей между элементами.

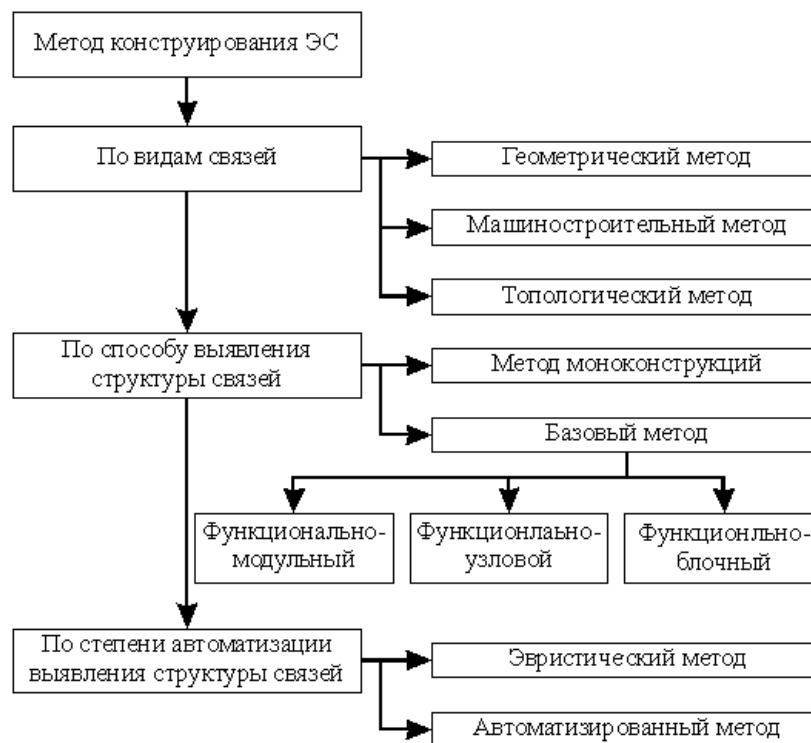


Рисунок 3.3 - Методы конструирования ЭС

Выбор указанных методов конструирования ЭС зависит от назначения аппаратуры и её функций, преобладающего вида связей, уровня унификации, автоматизации и т. д.

Так, например, при конструировании устройств с применением интегральных микросхем (ИС) применяют топологический метод (преобладают физические связи), функционально-модульный (в качестве функциональных

модулей используются ИС), автоматизированный (размещение ИС на ПП, трассировка соединений выполняется с помощью ЭВМ). В свою очередь ИС конструируются методами топологии на базе автоматизации.

Дадим краткую характеристику сложившихся методов конструирования ЭС.

Геометрический метод. В основу метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных точек, число и размещение которых зависит от заданных степеней свободы и геометрических свойств твердого тела.

Метод целесообразно применять для конструкций, которых должно соблюдаться *точное взаимное положение деталей* или обеспечиваться *их точное перемещение* при величинах деформации, значительно меньших погрешностей изготовления деталей.

Одной из основных черт геометрического метода является то, что при нем *характер взаимосвязи двух деталей почти не зависит от погрешностей их изготовления*. Свойства, которыми обладают конструкции, созданные по этому методу, весьма важны в массовом производстве, построенном на взаимозаменяемых деталях.

Машиностроительный метод. В основу этого метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных поверхностей, число и размещение которых выбирается *исходя из минимизации массы и допустимой прочности конструкции*.

Метод целесообразно применять для конструкций с относительно *большими величинами деформаций*. Он нашел применение при проектировании несущих конструкций ЭС всех уровней, кинематических звеньев ФУ, а также всех видов неподвижных соединений (болты, винты, заклепки, скобы и т. д.). Возможность обеспечения *механической прочности при минимальной массе, простота конструкции и высокая экономичность* делают этот метод для отдельных видов

конструкций ЭС, в том числе и несущих, эффективнее геометрического.

Топологический метод. В основу его положена структура физических связей между электрорадиоэлементами (ЭРЭ), т. е. представление конструктивного вида принципиальной схемы и ее геометрической (топологической) связности, независимо от ее функционального содержания.

Он используется, если нельзя применить геометрический и машиностроительный методы.

Топологический метод, в принципе, может применяться для выявления структуры любых связей, однако конкретное его *содержание проявляется там, где связность элементов может быть сопоставлена с графом*. Под графом в общем случае понимается графическое выражение структуры связей между элементами принципиальной схемы и элементами конструкции.

Основные черты топологического метода:

1) Сопоставление связности элементов принципиальной схемы и деталей конструкции на основе теории графов;

2) изоморфизм графов, т. е. свойство эквивалентности строения независимо от различия в геометрическом образе, которое позволяет получить множество преобразований графа, среди которых конструктору удастся найти совершенно непохожее на свой прототип решение.

Топологический метод конструирования применяется, в первую очередь, для *создания пленочных ИС, печатных плат, гибких печатных соединителей*, электромонтажных чертежей, реализации принципа «непрерывной схемы» в устройствах СВЧ-диапазона и т. д.

Метод проектирования моноконструкций основан на минимизации числа связей в конструкции, он применяется для создания ФУ, блоков, РТУ на основе оригинальной несущей конструкции (каркасе, шасси) в виде моноузла (моноблока) с оригинальными элементами. Длительное время конструирование ЭС велось только с использованием моноконструкций, т. е. применительно к частным конкретным

требованиям предъявляемым к функциональному узлу, блоку и РТУ.

Известно, что разработка моноконструкций ЭС сопряжена с многочисленными трудностями и имеет ряд недостатков, а именно: *длительное время конструирования и внедрения в серийное производство, ограниченные возможности типизации и унификации, недостаточно высокая надежность, низкая степень ремонтпригодности, сложность внесения изменений в принципиальную схему без переделки конструкции, значительная стоимость разрабатываемых и изготавливаемых конструкций.*

Базовый метод конструирования. В основу метода положено деление аппаратуры на конструктивно и схемно законченные части. Базовый метод конструирования и его разновидности (функционально-модульный, функционально-узловой и функционально-блочный метод) основывается на принципах агрегатирования, функциональной и размерной взаимозаменяемости, схемной и конструкторской унификации. Деление базового метода на разновидности связано с ограничениями схемной и конструкторской унификации структурных уровней (модулей, ФУ, блоков).

Базовый метод является основным при проектировании современных ЭС, он имеет много преимуществ по сравнению с методами моноконструкций:

на этапе разработки:

1) позволяет одновременно вести работу над многими узлами и блоками, что сокращает сроки проведения разработки;

2) упрощает отладку и сопряжение узлов в лаборатории, так как работа ФУ определяется работой известных модулей и ИС;

3) резко упрощает конструирование и макетирование;

4) сокращает объем оригинальной КД;

5) дает возможность непрерывно совершенствовать аппаратуру без коренных изменений конструкции;

6) упрощает и ускоряет внесение изменений в принципиальную схему, конструкцию и КД;

на этапе производства:

1) сокращает сроки освоения серийного производства аппаратуры;

2) упрощает сборку, монтаж;

3) снижает требования к квалификации сборщиков и монтажников;

4) снижает стоимость аппаратуры благодаря широкой механизации и автоматизации производства;

5) повышает степень специализации производства;

при эксплуатации:

1) повышает эксплуатационную надежность РЭА;

2) облегчает обслуживание;

3) улучшает ремонтпригодность аппаратуры.

Эвристический метод использует обобщённый практический опыт (коллективная мудрость) в области конструирования ЭС и смежных отраслей. Метод является основным в практической деятельности конструктора ЭС.

Метод автоматизированного (автоматического) конструирования основан на использовании ЭВМ для решения задач компоновки ЭРЭ, трассировки межсоединений различных структурных уровней, вычерчивания чертежей и выпуска КД.

Большое разнообразие задач автоматизированного конструирования привело к разработке алгоритмов для решения однотипных задач, отличающихся точностью, малым временем выполнения, достаточным объёмом машинной памяти и т. п. Системы автоматического конструирования ЭС – это системы типа «человек-машина», они *содержат комплекс технических средств* (ЭВМ, координатографа, печатающие и запоминающие устройства, табло и т. д.) и *математическое обеспечение*, предназначенное для решения задач конструирования РЭА различного иерархического уровня. Несмотря на различие автоматизированных методов

конструирования можно выделить следующие самостоятельные *этапы автоматического конструирования*:

3. Размещение скомпонованных функциональных модулей и элементов по конструкциям устройств всех уровней, составление соответствующего технического документа, например таблицы расположения.

4. Трассировка соединений между устройствами, модулями или элементами в соответствии со схемой связей и ограничениями на прокладку, составление электромонтажной документации, контроль правильности составления документации. При изготовлении фотооригиналов или фотошаблонов автоматизированными методами рабочие чертежи утрачивают функции основного документа, необходимого для изготовления фотооригинала. В качестве основной конструкторской документации используется табличный способ представления результатов проектирования. машинные чертежи установки элементов на ПП и чертежи слоев плат при этом являются дополнительной документацией. Если соединения осуществляются с помощью станков-автоматов, то входная информация выдается на носители (перфоленты, перфокарты и т. д.) с управляющей информацией для изготовления фотошаблонов.

Для автоматизированного метода конструирования, так же как и для базового, необходим высокий уровень схемной и конструкторской унификации, так как повторяющиеся элементы схемы и детали конструкций упрощают разработку программ для ЭВМ.

3.4 Конструкторская документация

Государственные стандарты, входящие в ЕСКД, устанавливают взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации на изделия, разрабатываемые и выпускаемые предприятиями всех отраслей промышленности.

Конструкторская документация (КД) – документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приёмки, эксплуатации, ремонта, утилизации.

КД подразделяются на:

- единичные;
- групповые – на изделия, обладающие общими конструктивными признаками и имеющие некоторые отличия друг от друга (ГОСТ 2.113-75).

По форме КД подразделяются на:

- графические;
- текстовые.

Графические КД – документация, в которой с помощью установленных стандартных символов и правил поясняется устройство, принцип действия, состав и связи между отдельными частями.

Графические конструкторские документы:

1. Чертеж детали (ГОСТ 2.109-76) – изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления, контроля и испытаний.

2. Сборочный чертеж (СБ) (ГОСТ 2.109-76) – изображение изделия и данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля.

3. Чертеж общего вида (ВО) (ГОСТ 2.106-68) – изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы. Выполняется на этапе эскизного проектирования.

4. Теоретический чертеж (ТЧ) (ГОСТ 2.106-68) – геометрическая форма изделия и координаты его основных частей.

5. Габаритный чертеж (ГЧ) (ГОСТ 2.106-68) – контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами.

6. Монтажный чертёж (МЧ) (ГОСТ 2.106-68) – контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа)

7. Схема – условные изображения или обозначения составных частей изделия и связей между ними (ГОСТ 2.701-68 ... ГОСТ 2.704-68)

8. Спецификация – состав сборочной единицы комплекса или комплекта. (ГОСТ 2.108-68)

Текстовые (ГОСТ 2.106-68) КД – документы, содержащие описание устройства, принципа действия и эксплуатационных показателей изделия к которым относят:

9. Ведомость спецификаций (ВС) – перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости.

10. Ведомость ссылочных документов (ВД) – перечень ссылочных документов, на которые имеются ссылки в КД.

11. Ведомость покупных изделий (ВП) – перечень покупных изделий, примененных в составе разрабатываемого изделия.

12. Ведомость согласования применения покупных изделий (ВИ) – подтверждение согласования с соответствующими организациями применения определенных покупных изделий в разрабатываемом изделии.

13. Ведомость держателей подлинников (ДП) (ГОСТ 2.112-70) – перечня предприятий, на которых хранятся подлинники документов, разработанных для данного изделия.

14. Ведомость технического предложения (ТП) (ГОСТ 2.118-73) (эскизного (ЭП), технического (ТП) проекта - ГОСТ 2.120-73) – перечень документов, вошедших в техническое предложение (ЭП, ТП).

15. Пояснительная записка (ПЗ) – описание устройства и принципа действия разработанного изделия, а также обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений.

16. Технические условия (ТУ) (ГОСТ 2.114-70) – потребительские (эксплуатационные) показатели изделия и методы контроля его качества.

17. Программа и методика испытаний (ПМ) – технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля.

18. Таблицы (ТБ) – номенклатура таблиц, содержащих данные.

19. Документы прочие (Д) – все документы, которых нет в стандартах ЕСКД.

20. Расчет – расчет параметров и величин, например, расчет размерных (РР) цепи, электрических режимов и т. д.

21. Эксплуатационные документы – предназначены для использования при эксплуатации, обслуживании, ремонте и в процессе эксплуатации. (ГОСТ 2.601-82)

22. Ремонтные документы – служащие для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях. (ГОСТ 2.602-82).

23. Инструкция (И) – указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, контроле и т.п.).

24. Патентный формуляр (ПФ) – содержит сведения о патентной чистоте объекта, а также о созданных и использованных при его разработке отечественных изобретениях.

25. Карта технического уровня и качества изделий (КУ) (ГОСТ 2.116-71) – содержит данные, определяющего технический уровень качества изделий и соответствие его технических и экономических показателей достижениям науки и техники, а также потребностям народного хозяйства.

По способу выполнения и характеру использования КД подразделяются на:

1. Оригиналы – документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников.

2. Подлинники – документы, выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение копий.

3. Дубликаты – документы идентичные подлинникам и выполненные на материале, позволяющем многократное воспроизведение копий.

4. Копии – документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником, предназначенные для непосредственной разработки.

В соответствии с ГОСТ 2.501-75 все подлинники, дубликаты и копии КД подлежат учёту и хранению в отделе (бюро) технической документации (ОТД или БТД). Вносить изменения в КД и аннулировать её имеет право только предприятие – держатель подлинников.

При автоматизированном проектировании изделий КД могут быть выполнены в визуальной форме, т.е. читаемые человеком, и в машинной (закодированной) форме, воспринимаемой только техническими средствами. Для документирования в системах автоматизированного проектирования используют различные носители информации: бумагу, перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, магнитные и лазерные диски.

Контрольные вопросы.

1. Какие виды конструкторских работ относятся к творческой? технической? организационной? производственной? корректировочной деятельности?

2. Что включает в себя поисковая стадия творческой работы конструктора?

3. Каким целям служит стадия вариационного анализа? Приведите пример.

4. Какие Вы знаете способы интенсификации творческой работы конструктора?

5. Расскажите суть «мозгового штурма»

6. Охарактеризуйте геометрический метод конструирования ЭС.
7. Область применения топологического метода конструирования ЭС.
8. Приведите конкретные примеры машиностроительного метода конструирования ЭС.
9. Назовите разновидности базового метода конструирования ЭС.
10. В каких случаях лучше применять метод моноконструкций?
11. Преимущества базового метода на этапе разработки, на этапе производства, на этапе эксплуатации.
12. Эвристический метод конструирования ЭС.
13. Этапы автоматического конструирования ЭС.
14. Техническое задание как стадия разработки ЭС.
15. Всегда ли существует этап технического предложения? Какие виды работ выполняются на этом этапе?
16. Какие вопросы охватывает стадия эскизного проекта?
17. Какова цель технического проекта?
18. Зачем изготавливается опытный образец?
19. Стадии разработки рабочей документации бывают опытного образца, установочной серии, установившегося серийного производства, С какой целью?
20. Какие Вы знаете графические КД? текстовые КД?
21. Для чего служит ведомость покупных изделий?

Список литературы

1. Болгов, А.Т. Основы проектирования радиоэлектронных средств [Текст]: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - 228 с.
2. Болгов, А.Т. Автоматизированное проектирование и оформление конструкторской документации электронных средств [Текст] : учеб. пособие. Ч.1 / - Воронеж: ВГТУ, 2003. – 144 с.
3. Болгов, А.Т. Автоматизированное проектирование и оформление конструкторской документации электронных средств [Текст] : учеб. пособие. Ч.2 / А.Т Болгов. - Воронеж : ВГТУ, 2004. – 87 с.
4. Конструирование радиоэлектронных средств [Текст] / В.Ф. Борисов, О.П. Лаврёнов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарёв; Под редакцией А.С Назарова. - М.: Издательство МАИ, 1996. - 380 с.
5. Ненашев, А.П. Конструирование радиоэлектронных средств [Текст]. - М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
6. Чернышов, А.А. Основы проектирования и надёжности электронных вычислительных средств [Текст]. М.: Радио и связь, 1995. – 550 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины	12
1 Курс лекций	23
2 Факторы, определяющие построение электронных средств	34
3 Конструкторское проектирование	86
Список литературы	111

Учебное издание

Башкиров Алексей Викторович
Чирков Олег Николаевич

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

В авторской редакции

Подписано к изданию 15.04.2015

Объем данных 2,7 Мб

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14