



Владимирский Государственный Университет  
Факультет радиофизики электроники и медицинской техники  
*Кафедра "Конструирование и технология радиоэлектронных средств"*

---

Министерство высшего образования  
Российской Федерации

Владимирский государственный университет

## **"Проектирование РЭС"**

конспект лекций

Составители:

Воронова О.В.

Мазепов А.И.

Владимир 2000.

---

600000, Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, корпус 3, кафедра КТ РЭС, E-mail: [ktrs@mailru.com](mailto:ktrs@mailru.com)  
Проезд: остановка "Кафе Новинка". троллейбусы №8, 9, 10. [dist@mailru.com](mailto:dist@mailru.com)  
Заведующий кафедрой КТ РЭС *Руфицкий Михаил Всеволодович* тел. (0922) 27-98-71, ВлГУ, корпус 3, ауд. 320.

---



## Содержание

Содержание .....	2
Проектирование РЭС. Роль и задачи конструктора .....	4
Развитие конструкций: История методов конструирования .....	7
Развитие конструкции и методов конструирования.....	9
Классификация РЭС. Особенности задач, решаемых конструктором .....	13
Тема: Компоновка РЭС, определяющие факторы .....	18
Особенности компоновки, определяемые объектом назначения. Классификация РЭС по условиям эксплуатации ГОСТ 16-019-78. ....	23
Особенности компоновки, продиктованные человеком-оператором.....	24
Методы компоновки и критерии оптимальности .....	25
Методология проектирования. Системный подход при проектировании. ....	28
Функционально-узловой - модульный метод конструирования модуля РЭС.....	30
Разновидности печатных плат (ПП). Основные требования проектирования .....	32
Основные требования конструирования ПП и модули на платах .....	36
Основные требования печатного монтажа 200 км.....	42
Основные требования оформления чертежа печатной платы .....	45
Технологические требования проектирования РЭС.....	48
Технологичность как общее конструктивное требование .....	53
Преимственность конструирования как общетехническое требование .....	54



Приемники помех, т. е. чувствительные к помехам устройства .....	57
Надежность как общетехническое требование к РЭС.....	58
Защита РЭС от механических воздействий.....	63
Основы конструирования ВП ячеек РЭС .....	66
Проектирование ячеек и блоков .....	69
Компоновка ячеек и блоков.....	75
Эволюция компоновочных вариантов микροэлектронной аппаратуры.....	82
Особенности корпусирования МЭА на МС - без корпусные и корпусные БГИС ....	87
Особенности конструирования на б/к МСБ .....	90
Ремонтопригодность конструкции как общее эксплуатационное требование к РЭА	93
Безопасность эксплуатации.....	94
Удобство эксплуатации как общее эксплуатационное требование к РЭС.....	96
Эргономические требования к РЭС.....	99



## Проектирование РЭС. Роль и задачи конструктора

Проектирование - процесс создания нового или модернизации с улучшением показателей качества.

Процесс проектирования сложный, поэтому он разбивается на стадии и этапы выполнения:

1. Разработка технического задания.
2. Разработка технического предложения.
3. Эскизное проектирование, то есть разработка принципиальных вопросов, в том числе схемы электрической принципиальной.
4. Разработка технического проекта, то есть конструкторских чертежей, позволяющих изготовить изделие по заданным требованиям.

Процесс проектирования включает схемотехническое и конструкторское проектирование.

Цель конструкторского проекта является разработка конструкции, ее чертежей и обоснование предложенных решений.

Конструкция - совокупность деталей различных форм и свойств, которые находятся в: пространственной связи; механической; электрической; тепловой и электромагнитной связях, которые обеспечивают функционирование изделия в заданных условиях эксплуатации и производства с необходимой точностью, стабильностью, надежностью и обеспечивают возможность производства, то есть технологичность и экономичность конструкции.



Конструкторское проектирование предполагает разработку по заданной электрической схеме всех указанных видов связи с выполнением заданных требований.

Следовательно, конструктор решает следующие задачи:

1. Конструктор выполняет компоновку - размещает электро радио элементы в производстве плоскости или в объеме.

2. Конструктор разрабатывает конструкцию элементов жестких механических связей (несущие) и гибких управляемых (механизмы).

Рассчитываются характеристики вибро- и ударопрочности несущих элементов в заданных условиях вибрации и ударов. Конструктор рассчитывает системы виброизоляции, кинематические цепи, предлагает механизмы управления.

3. Конструктор разрабатывает элементы электрических связей (платы печатные, гибкие печатные кабели, проводники и жгуты навесного монтажа). Разрабатываются при этом чертежи печатных плат, гибких печатных кабелей, электромонтажные чертежи.

4. Конструктор обеспечивает нормальные тепловые режимы работы элементов, блоков и устройств, разрабатывает и рассчитывает элементы локального охлаждения, элементы общего охлаждения.

5. Конструктор обеспечивает электромагнитную совместимость элементов и устройств, то есть подавляет помехи в конструкции до допустимых норм и ослабляет помехи у теплочувствительных элементов.

Выполняет разработку и расчёт электромагнитных экранов, электромагнитных фильтров в линиях связи. Кроме того, конструктор разрабатывает



и рассчитывает элементы с полезными электромагнитными связями (трансформатор).

Указанные разработки должны удовлетворять заданным условиям по механическим и климатическим воздействиям разрабатываемого класса устройств.

Конструкция должна удовлетворять заданным требованиям по надежности, точности, стабильности.

И конечно, общим техническим требованиям – иметь минимальные габариты, массу, удобство эксплуатации, быть ремонтпригодной.



## Развитие конструкций: История методов конструирования

### Первое поколение.

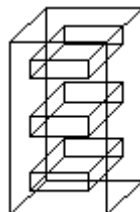
В первом поколении в качестве активных элементов использовались лампы и выполнялись методами, принятыми в электроприборостроении.

Конструкции выполняли в виде моноблока: на шасси размещали крупногабаритные элементы конструкции, на переднюю панель выносили органы управления и настройки, монтаж осуществляли навесными проводами и жгутами в основном подвале шасси.

Причинами и определяющими факторами развития конструкций являются:

1. Условия эксплуатации.
2. Условия производства.
3. Условия сложности схемы электрической принципиальной.

С развитием схемотехники и усложнением применяемых схем конструкторы были вынуждены перейти на моноблочный вариант компоновки. Многоблочное конструирование позволило упростить решение задач электромагнитной совместимости и обеспечило возможность специализации производства





### Многоблочная конструкция

Специализация производства позволяла ограничить многообразие выпускаемых устройств, выпускать наиболее интересные по схеме и конструкции, то есть унифицировать выпускаемые конструкции изделий.

Это приводит к преимущественности при конструировании, снижению стоимости разработок и повышению их надёжности.





## Развитие конструкции и методов конструирования

### РЭС от второго поколения и выше

1. Схема.
2. Условия эксплуатации.
3. Условия производства.

Конструкции первого поколения РЭС имеют следующие недостатки:

1. Большие габариты, большая потребляемая мощность, так как элементарная база - электровакуумные приборы.
2. Конструкции нетехнологичны для производства, так как предполагается ручной монтаж навесными проводами и жгутами.

Указанные недостатки оказались особенно существенны при изменении условий эксплуатации в военных условиях, следовательно, необходима миниатюризация. Аппаратура должна быть экономичной.

$$P_{уд} \leq 15 \text{ Вт/дм}^3 = P / V$$

При компактном монтаже аппаратуры для уменьшения ее габаритов и массы возникает проблема охлаждения, т. к. увеличивается удельная мощность тепловых потерь

- иначе не естественное охлаждение (естественная конвекция и т. д.) нужнее принудительные методы. Проблема также - крупногабаритный монтаж навесными проводами и кабелями.



Необходимо уменьшить мощность тепловых полей отсюда следует модернизация электровакуумных приборов. Для миниатюризации конструкций были предложены миниатюрные радиолампы ("желудь").

В таких конструкциях проблема возникла компактного монтажа и технологичности конструкции.

Решение - предложение печатного монтажа.

Гетинакс или стеклотекстолит фольгированный материал платы.

Печатные платы выполняют роль несущего элемента и элемента электромонтажа; жесткие, компактные, позволили существенно уменьшить габариты и массу конструкции.

Возможен автоматизированный процесс. Кроме того, печатный монтаж позволил автоматизировать производство, регулировку и контроль конструкции на печатных платах, что увеличивает технологичность конструкции.

Но проблемы охлаждения осталась (плата – теплоизолятор и не отводит тепло от ламп), особенно у электровакуумных приборов.

Это объясняется, прежде всего, плохой теплопроводностью печатных плат.

1947-49 гг. - активные полупроводниковые приборы диоды и транзисторы, которые имеют более высокий КПД.

Указанные конструкции с полупроводниковыми приборами, дискретными навесными и прочими элементами, и использующими печатный монтаж называются конструкциями второго поколения РЭС.

Собственная частота колебаний платы равна.

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{m}}$$



Где,  $K$  – жёсткость платы;  $m$  – масса платы.

При сложной электрической принципиальной схеме конструкция располагается на печатной плате больших габаритов.

При конструировании печатную плату необходимо выполнить так, чтобы собственная частота механических колебаний платы была выше возмущающих частот.

Следовательно, конструкция платы с элементами должна иметь большую жесткость и малую массу. Возникла необходимость разрезать схему и конструкцию на малогабаритные платы, имеющих большую  $K$  и малую  $m$ .

Сущность функционально-узлового метода конструкции в расчленении схемы и конструкции на малогабаритные, схемно- и конструктивно-законченные функциональные узлы.

Для увеличения миниатюрности и технологичности функциональных узлов предлагали:

1. Плоские конструкции печатных плат с односторонним монтажом.
2. 2-х сторонние конструкции печатных плат с 1 или 2-х сторонним монтажом элементов.
3. Применяли 2-х платные и 3-х платные конструкции функциональных узлов, размещенных в этажерку.
4. Предлагали миниатюрные конструкции функциональных узлов на микроэлементах - микромодули. Микроэлемент микромодуля выполняется на плате 9,8x9,8 мм, элементы друг на друга в этажерку и пропаиваются проводниками - они одновременно как выводы модуля – не технологичность.
5. Так как конструкция нетехнологична, предложены конструкции автоматизированного производства в виде микросхем разных технологий. Функ-



функционально узловый метод конструкции позволил выделить из многообразия схем и конструкций узлов наиболее интересные и достойные, унифицировать их и отдать на специальное производство.

Такие унифицированные функциональные узлы называют модулями и метод конструирования – модульный.

В зависимости от сложности конструкции и эксплуатации назначения модули бывают разных уровней (модуль, ячейка, блок).

Конструкции РЭС, в которых элементную базу представляют микросхемы не высокой степени интеграции вид монтажа печатный, а конструктивно законченными составляющими являются модули, называют конструкциями III поколения РЭС.

В дальнейшем существенно усложняется схема электрическая принципиальная - в схеме до миллиона элементов - конструкция крупногабаритная и нетехнологичная для производства даже на микросхемах.

Для уменьшения габаритов и увеличения технологичности конструкции РЭС увеличивают степень интеграции микросхем, то есть количество эквивалентных элементов на основании микросхем и уменьшают их общее количество в конструкции, то есть перекачивают сложность из конструкции в элементную базу.

Появились корпусные БИС 3 и 4 степени интеграции, корпусированные и корпусные МСБ сборки степень интеграции 4 или 5.

Конструкции, в которых в качестве элементов используют корпусированные БИС или корпусированные и бескорпусные МСБ, вид монтажа печатный - IV поколение.

Проблема в охлаждении МС и МСБ и проблема миниатюрного малогабаритного электро монтажа.



## Классификация РЭС. Особенности задач, решаемых конструктором

- а) по конструктивным признакам;
- б) по функциональным признакам;
- в) по эксплуатационным признакам.

В зависимости от конструкторского исполнения, условия эксплуатации:

- 1. РТС - радиотехническая система;
- 2. радиоприбор или радиотехническое устройство;
- 3. радиоблок;
- 4. радиоузел;
- 5. деталь.

1. - совокупность радиотехнических устройств, определенным образом размещенных в производстве и предназначенных для передачи, приема и обработки информации в виде энергии электромагнитных волн, например, Радио Локационная станция.

Работы по схемам 1/3	Работы по схемам 1/3	Работы по схемам 1/6
		Комплексная работа 1/6
Комплексные работы – опред. роль – конструктор	Комплексная работа 1/3	Конструир. 2/3
	Конструир. 1/3	
$\alpha$ РТС	$\beta$ Радиоблок	$\gamma$ Узел



При разработке РТС принимают комплексное участие специалисты многих профессий схемотехники, физики, экономисты, конструкторы.

Работа начинается с разработки принципов функционирования и расчёта электрической структурной схемы системы.

$$K = f (k_1, k_2, k_3, k_4, \dots, k_n)$$

Цель проектирования: поиск наилучшего варианта по показателям качества проектируемого изделия. Качество понятие многогранное, функциональное, оценивается по многим показателям электрическим, материальным, экономическим, следовательно, показатель качества определяется в результате работы по оптимизации предложенной схемы и ее параметров, работы конструкторов, экономистов и прочих.

2 - эксплуатационно-автономные, т. е. самостоятельные изделия с законченной схемой и конструкций, выполняющих самостоятельные функции.

Радиотехническое устройство - часть радиотехнические системы эксплуатационно и пространственно обособленную с законченной схемой конструкции и выполняющее определенные функции в системе, например, радиоприемное устройство.

3 - Часть эксплуатационно не автономную прибора или устройства, схемно и конструктивно законченную, выполняющую частые функции.

$\beta$  - работы специалистов по схемам, сейчас при проектировании схемы широко применяется модульный метод проектирования, когда отдельные блоки схемы покрываются по схеме и конструкции модулями. Применяемые модули могут быть различного уровня сложности и значимости, например модули "о" уровня - МС.



Модули "1" уровня - ячейки,

"2" - блоки.

$\beta$  - при разработки приборов, уст, блоков имеет место самостоятельная работа конструктора по заданной схеме электрической принципиальной. Работа конструктора от схемы электрической принципиальной или от заданной схемы электрической структуры.

Конструктор задачи: пространственного размещения элементов, разработка несущих элементов конструкции и элементов управляемой связи, элементов электрического монтажа, элементов тепло охлаждения и расчет тепловых режимов, разработка элементов электромагнитной защиты и электромагнитных связей, элементы защиты конструкции от климатических и механических факторов эксплуатации, расчет надежности. Конструкция обеспечивает заданные показатели надежности, работы по обоснованию экономической эффективности.

4 - совокупность деталей и элементов, технологически, схемно- и конструктивно законченных, выполняющих простейшие функции.

5 - неделимая часть конструкции, выполненную без применения сборочных операций из одного материала или неразъемной композиции материалов (например, печатная плата).

$\gamma$  - При проектировании большая часть - на конструирование, при проектировании узлов должны использовать системный подход, т. е. мах учитывать требования от составляющих более высокого уровня сложности и значимости, например, учитывать требования по климатическим и механическим воздействиям объекта назначения. Унификация и стандартизация на



уровне радиоэлементов узлов применяется и используется в мах степени и поэтому оказывается дешевле и с лучшими показателями.

По условиям эксплуатации в зависимости от объекта по ГОСТ 16019-78 РЭС на:

I Наземная РЭА стационарная

Несколько подгрупп: отапливаемых и не отапливаемых помещений

II Возимая РЭА: гусеничного хода, колесного хода

III Судовая (корабельная): верхняя палуба, палуба корабля

IV Носимая: на открытом воздухе при переноске оператором

V Бортовая - самолетная

Данный стандарт для каждой группы аппаратуры определяет климатические и механические факторы воздействия.

Виброустойчивость и вибропрочность оцениваются диапазоном частот и величиной ускорения при механических воздействиях.

При проектировании РЭС необходимо исполнять элементы конструкции так, чтобы исключить механический резонанс в заданном диапазоне частот вибраций. Конструкция должна иметь достаточную жесткость и возможно меньшую массу, чтобы

$$f_0 \ll f_{\text{вibr.}}$$

Климатические факторы воздействия определяют необходимость герметичного или негерметичного исполнения аппаратуры, необходимости элементов локального или общего охлаждения.

РЭА классифицируют также по функциональному назначению:





- радиопередающая или радиоприемная, бытовая, специальная аппаратура.

В зависимости от функционального назначения, т. е. от схемы электрической принципиальной будут особенные конструкторские решения.

Схема электрическая принципиальная диктует особенное конструкторское исполнения в зависимости:

1. Мощность РЭ Устройства его элемента.

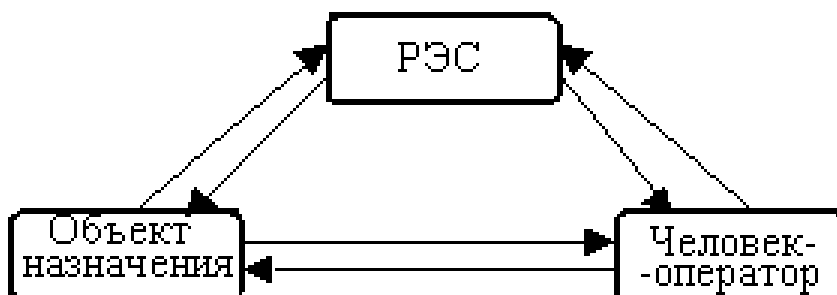
2. Диапазон рабочих частот или форма, амплитуда импульсов проектируемого изделия в зависимости от  $f$ , формы импульсов и их амплитуды проектируемое устройство может содержать источником помех или может быть чувствительно к помехе - задача электромагнитной совместимости.

3. Определяется необходимость органов управления, регулировки и контроля, которые должны размещаться удобно для эксплуатации оператором.



## Тема: Компоновка РЭС, определяющие факторы

Компоновка - пространственное размещение ЭР элемента, которое обеспечивает выполнение заданных требований и общих технических требований.



На компоновку РЭС влияют 3 группы факторов:

1. Его схема, функциональные особенности

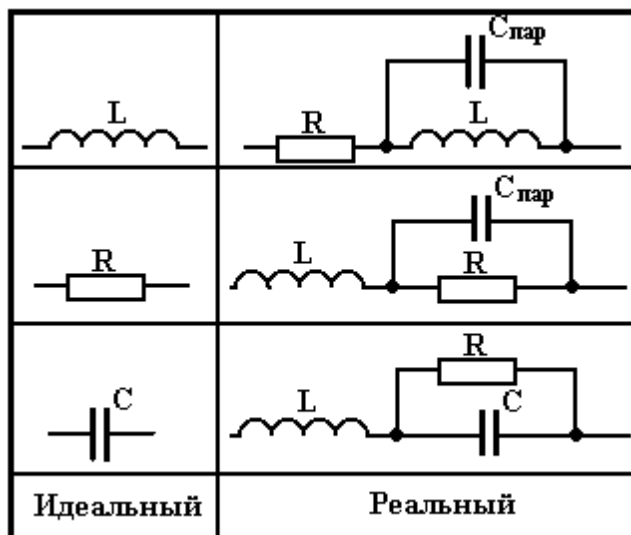
Под группой факторов РЭС имеется в виду факторы, определяемые схемой электрической принципиальной и ее функциональными особенностями.

Схема электрическая принципиальная оказывает своё влияние на размещение элементов следующими условиями:

- 1) Элементная база. Электрорадиоэлементам ОСТ 4.010.030-92. Установка элементов на печатные платы. Определяет разметку посадочных ЭРЭ на печатной плате, их размерности и возможные расположения относительно платы. В конструкциях на МС за 4 поколения стандарт рекомендует шаг размещения МС на плате в зависимости от типа корпуса МС и от количества выводов МС, задействованных по схеме.



2) Частота электромагнитных колебаний или форма импульсов импульсных устройств. Всякий ЭРЭ проявляет себя не только полезными параметрами, указанными в схеме, но и паразитными параметрами.



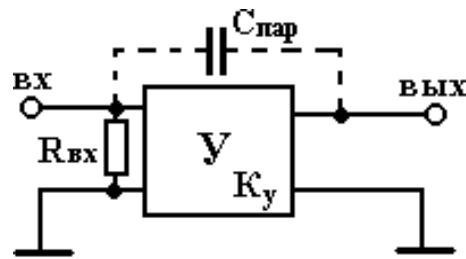
Паразитные параметры элементов схемы наиболее сильно оказывают своё влияние в диапазоне высоких и сверхвысоких частот.

$$X_L = \omega L \quad (C \uparrow \omega \Rightarrow X_L)$$

Индукционное сопротивление выводов элементов и проводников монтажа на высоких частотах увеличивает потери в выводах и проводах, возникают взаимно индуктивные связи между элементами и проводами.

Ёмкостное сопротивление равно:

Следовательно, на высоких частотах существенно уменьшается ёмкостное сопротивление, а значит, увеличивается шунтирующее влияние паразитной ёмкости и усиливаются паразитные ёмкостные связи.



Пример: в усилителях емкостная связь между проводниками вход-выход может привести к самовозбуждению - неустойчивости усилителя.

$$K_{ос} = \frac{R_{ВХ}}{R_{ВХ} + \frac{1}{\omega \cdot C_{ПАР}}} \approx R_{ВХ} \cdot \omega \cdot C_{ПАР}$$

При наличии паразитной ёмкости с выхода усилителя на вход поступает сигнал обратной связи с коэффициентом обратной связи

$$K_y \cdot K_a \geq 1$$
$$K_y \cdot R_{ВХ} \cdot \omega \cdot C_{ПАР} \geq 1$$

Усилитель будет работать неустойчиво, то есть самовозбудится и будет работать в режиме паразитной автогенерации когда выполняются условия автогенерации. Исходя из условия баланса амплитуд можно записать:

Чтобы усилитель не возбуждался необходимо выполнение следующих условий

$$K_y \cdot K_a < 1$$
$$K_y \cdot R_{ВХ} \cdot \omega \cdot C_{ПАР} < 1$$
$$C_{ПАР} \leq \frac{1}{\omega \cdot K_y \cdot R_{ВХ}}$$



Видно, что чем выше частота электромагнитных колебаний, тем меньше должна быть паразитная ёмкость между проводами, особенно между входом и выходом усилителя, поэтому при компоновке пространственно разносят вход и выход, размещают проводники входа и выхода не параллельно и лучше в разных плоскостях платы. При компоновке многокаскадных усилителей рекомендуется размещать отдельные усилители в линию. Элементы связи между каскадами усиления необходимо размещать по осевой линии линейки возбуждения, пространственно разнося друг от друга, чтобы уменьшить связь с выхода последующих каскадов на вход предыдущих. Для уменьшения паразитной связи через выводы ЭРЭ монтаж ЭРЭ выполняют с наименьшей длиной вывода, а в сверхвысоких частотах безвыводные ЭРЭ.

3) Мощность тепловых потерь схемы и мощность отдельных ЭРЭ конструкции. Если удельная мощность тепловых потерь проектируемого РЭС равна

$$P_{\text{уд}} = (P/V) \geq 15 \text{ Вт/дм}^3$$

то естественного охлаждения недостаточно. Если в проектируемом устройстве удельная мощность больше отмеченного, то предлагают системы естественного охлаждения (перфорация, жалюзи) или принудительного охлаждения или предлагают систему жидкостного охлаждения. Для отдельных мощных активных элементов конструкции предлагают для охлаждения теплопроводы, радиаторы или теплоотводящие основания и трубы для мощных ЭРЭ. Мощные ЭРЭ, требующие теплопровода рекомендуется размещать на



металлических несущих конструкциях или при хорошем контакте теплопровода с металлическими конструкциями.

4) Элементы регулировки, настройки, подстройки, а только элементы контроля требуют такого размещения, которое обеспечивало бы удобный доступ при эксплуатации. Элементы настройки и управления выносятся на переднюю, на заднюю панель или оформляются в виде отдельного пульта управления. Элементы подстройки должны размещаться так, чтобы к ним был обеспечен доступ в рабочем состоянии устройства с одной или двух сторон.

5) В схеме могут быть источники помех и помех чувствительные элементы (приемники помех).

Для того чтобы исключить влияние помех необходимо:

1. пространственно разнести источники и приемники помех;
2. уменьшить величину помехи у источника и у приемника посредством экранирования;
3. устранить прохождение помехи по общим цепям, например, питания, путём применения фильтров.



## Особенности компоновки, определяемые объектом назначения.

### Классификация РЭС по условиям эксплуатации ГОСТ 16-019-78.

Для различных классов аппаратуры стандарт определяет климатические условия эксплуатации и условия механического воздействия.

Проектируемая аппаратура:

- теплоустойчива, теплопрочная;
- морозоустойчива, морозопрочная;
- виброустойчива, вибропрочная;
- ударноустойчива, ударнопрочная и т. д.

Устойчива - то есть работает в данных условиях, сохраняя параметры в рамках допустимых значений.

Под прочностью понимается способность аппарат выдержать воздействие разрушающих факторов и затем нормально работать при снятии возмущающих нагрузок. Соответственно объект назначения обязывает решать задачу защиты конструкции в указанных значения возмущений.

Пример: носимая аппаратура - водозащищенная и виброзащищенная, то есть исполняется в герметичном исполнении, кроме того должна выдерживать удар при падении с высоты 750 мм, то есть быть ударопрочной.

Объект назначения диктует так же ограничения на габариты и массу.



## Особенности компоновки, продиктованные человеком-оператором

Человек – оператор диктует общие технические требования, которые предъявляются к аппаратуре любого класса:

1. Эстетика.
2. Удобство эксплуатации.

Пример: летчик, обслуживающий самолетную аппаратуру - использует ее как посредника в работе, а значит должен тратить минимум своего времени для сбора информации и управления, следовательно, самолётная аппаратура должна иметь централизованное управление.

3. Эргономичность конструкции

Она предполагает согласованность параметров конструкции с особенностями человека-оператора.

4. Безопасность эксплуатации.
5. Ремонтопригодность.

Аппаратура - должна быть удобна для ремонта.





## Методы компоновки и критерии оптимальности

Применяют различные методы компоновки в зависимости от элементной базы и сложность конструкции.

1. Аналитические, расчетные методы с применением ЭВМ и САПР.

Возможны, когда есть математическое описание габаритов, элементов, посадочных мест, требования на размещения элементов, на их расстоянии друг от друга.

2. Метод плоских аппликаций. Для конструкций несложных широко применяют.

Например, на плоскости печатной платы размещают в поисках наилучшего варианта (габариты min, трассировка наикратчайшая).

Для объемных конструкций применяют метод физических моделей.

Критерии оптимальности конструкции - частые критерии или обобщенные комплексные показатели.

К частным критериям относятся:



$$\text{для ИС} \quad \lambda = \frac{N_{\text{ЭК}}}{V_{\text{К}}}$$

$N_{\text{ЭК}}$  – количество эквивалентных элементов компонента

$V_{\text{К}}$  – объём компонента

для устройства, блока

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N N_{\text{ЭК}_i}}{V_0}$$

Коэффициент дезинтеграции конструкции равен:

$$g = \frac{V_0}{\sum_{i=1}^N V_{\text{К}_i}}$$

$V_0$  – объём устройства блока, устройства.

$V_{\text{К}_i}$  – полезный объём  $i$ -го компонента

### 1. Плотность упаковки

Более объективны показатели компоновки, оценивающие конструкцию в комплексе с учетом функциональных особенностей, конструктивных, экономических характеристик.

$$K = \varphi_v V + \varphi_m m + \varphi_p P + \varphi_\lambda \lambda + \varphi_c C$$

$V$  - объём конструкции

$m$  - масса

$P$  - мощность

$\lambda$  - интенсивность отказов

$C$  - стоимость

Пример: Комплексный показатель:

По записанному выражению лучшим будет тот вариант у которого комплексный показатель качества  $K$  минимальный. В этом выражении  $V$ ,  $P$ ,  $m$ ,  $\lambda$ ,  $C$  – должны быть безразмерны, то есть в относительных единицах.



$$V = \frac{V_{\text{ПР}}}{V_{\text{АН}}}$$

$V_{\text{ПР}}$  – проектируемый объём

$V_{\text{АН}}$  – объём аналога

Следовательно, при проектировании конструкции должен быть определён аналог по требованиям к проектируемому устройству.



## Методология проектирования. Системный подход при проектировании.

При проектировании РЭС должны учитываться многие факторы. Применяют системный подход, когда проектируемые изделия представляют в виде системной иерархии.

При проектировании устройств любого уровня системы должны учитываться факторы влияния от систем высшего уровня и от составляющих системы проектируемого уровня.

Параметры, определяющие систему, могут быть внешние и внутренние.

Внешние данные отвечают на вопрос, что должна делать проектируемая система.

Пример: Радиостанция на самолете - обеспечить связь на дальность  $X$  км на скорости полета  $V$  км/ч.

Внешние параметры проектируемой системы - исходные данные на разработку этой системы. Внутренние параметры - результат схемотехнической и конструкторской реализации и отвечают на вопрос, за счет чего выполняются внешние параметры (треб.  $P$  передаточ. и чувств. приемника для заданной дальности связи).

2 этапа проектирования

I - этап внутреннего проектирования

II - этап внешнего проектирования

II - анализ и обоснование внешних параметров, т. е. исходных данных на разработку, т. к. внешние параметры продиктованы системой внешнего



уровня, то при их анализе и обосновании надо исследовать их взаимосвязь с характеристиками, параметрами системы высшего уровня.

I - цель: реализация такой схемы и конструкции, которая обеспечивает наилучшие показатели качества.

Задачи внутренние проектирования выполняются в следующей последовательности:

1. Синтез структуры конструкции, т. е. предложение и расчет электрической структуры схемы и поблочный расчет схемы электрической принципиальной, покрывающей электрическую структурную.

2. Оптимизация схемы и ее параметров по выполнению заданных конструктивных, экономических ограничений.

Эту работу можно выполнить без конструкторского проектирования, используя информацию по статистике существующих аналогичных устройств.

3. Выбор наилучшего варианта, выполняющего заданные ограничения и наилучшие показатели качества.



## Функционально-узловой - модульный метод конструирования модуля РЭС

Широко применяется.

Схема и конструкция разделяется на схемно- и конструкторско-законченные составляющие различного уровня сложности и значимости. Этот метод позволяет специализировать производство отдельных узлов и блоков аппаратуры, а значит унифицировать их (ограничить разнообразие).

Унифицированные функциональные узлы и устройства называют модулями. Сущность - сборка изделия и отдельных модулей. Модульный метод проектирования и конструирования уменьшает сроки разработки, уменьшает стоимость изделия, увеличивает ее надежность.

0 уровень	ИМС, микросборки
1 уровень	ячейка
2 уровень	блок, если он унифицирован
3 уровень	стойка, шкаф
4 уровень	совокупность стоек

В зависимости от сложности и значимости различают модули следующих уровней.

т. к. модули низких уровней входят в модули высоких уровней должна быть соизмеримость в размерах конструкций, должны выполняться правила стандартов.



Стандартизация позволяет ограничить разнообразие конструкторских решений, ориентирует на современные технологии и конструкции и позволяет унифицировать не только модули, но и несущие (НК) конструкции. Конструктор широко использует при разработке БНК - базовые НК.

Модули 1 уровня - конструирование печатных плат

Ячейка - конструкция на печатной плате, когда с одной или с двух ее сторон располагаются печатные проводники, МС или М сборки и прочие электрорадиоэлементы.

Печатный монтаж обеспечивает: 1. компактность и жесткость конструкции; 2. технологичность монтажа, т. е. приспособленность к автоматизации.



## Разновидности печатных плат (ПП).

### Основные требования проектирования

ПП различают Б) по конструкции и а) по технологии производства.

По технологии производства бывают:

А1 Платы химического метода производства

А2 Комбинированного

А3 Электрохимического

А4 Металлизации сквозных отверстий

По конструкции:

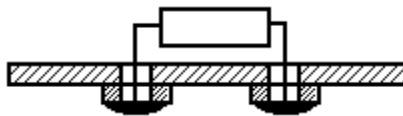
Б1 Односторонняя

Б2 Двухсторонняя

Б3 многослойная

Б4 Гибкая печатная плата (ГПП), гибкий печатный кабель (ГПК)

А1 Пластина гетинакса с приклеенной фольгой, сверление отверстий под радиоэлементы, потом рисовать краской по фольге, травление (водный раствор хлорного железа), запаивает электрорадиоэлементы.



Платы А1 изготавливают методом правления фольгированного диэлектрика, согласно предварительно нанесенного рисунка печатных проводников и контрольных площадок.

Электрорадиоэлементы на плату - с зазором и без зазора Па, Ia.





1а - без зазора - увеличивает прочность на А1 - элементы - без зазора рекомендуется устанавливать. Если на А1 плату элемент приходится ставить с зазором, то для прочности рекомендуется пистонировать отверстия (пустотелая заклепка) или под плоское основание элемента устанавливать диэлектрическую прокладку.

Платы А1 бывают односторонние, когда печатный проводник к контрольной площадке с одной стороны, а электрорадиоэлементы с другой.

Если печатный монтаж сложный, то приходится выполнять плату двухстороннюю, когда контрольный проводник и печатная площадка в двух плоскостях.

Для того чтобы перевести печатный проводник из одной плоскости в другую, необходимо выполнить переходное отверстие с контактными площадками и пистонировать его, если плата химического метода.

Для того чтобы автоматизировать процесс производства двухсторонних печатных плат с переходными отверстиями предлагают не пистонирование, а металлизированные отверстия электрохимическим осаждением  $Cu - A2$ , т. е. печатные проводники и контрольные площадки методом химического травления, а затем металлизуют отверстия и проводники электрохимическим методом.

Электрорадиоэлементы крепятся с зазором над платой, если под элементом печатные проводники.

Для обеспечения прочности крепления электрорадиоэлементов с зазором над платой монтажные отверстия, металлизированные вместе с переходными отверстиями конструкции. Платы химического и комбинированного метода производства не могут обеспечивать очень высокую точность печат-



ных проводников и контрольных площадок (Ширина проводников и зазоров - не менее 0,25 мм).

Для того, чтобы получить плату большой точности и большой плотности монтажа применяют электрохимический метод производства.

Сущность электрохимического метода в осаждении Си по заранее нанесенному тонкому рисунку проводников и контрольных площадок, например, по аддитивным технологиям тонкий токопроводной рисунок проводников и контрольных площадок можно нанести осаждением ионов Си из водного раствора солей Си засветкой ультрафиолетовым светом, через фото негатив печатной платы, ширина проводника 0,15; 0,1 мм.

Если схема сложная, на БИС или микросборках, то может не хватить двухплоскостей печатной платы следовательно необходима многослойная плата.

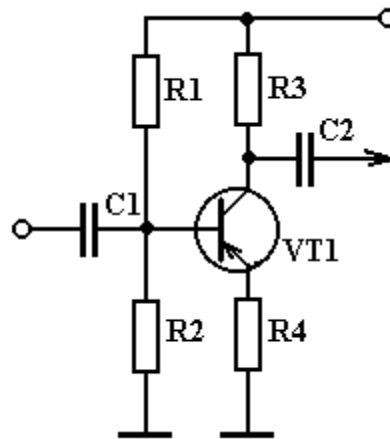
Многослойные печатные платы из нескольких двухсторонних и односторонних печатных плат, выполненных на тонком теплостойком основании (фольгирование диэлектрик лавсановый), которые собираются в пакет и спрессовываются в жесткую монолитную конструкцию. Переходы проводников между слоями выполняют через сквозные металлизированные отверстия, на которые выводят печатные проводники и контрольные площадки только тех слоев, которые требуют соединения.

ГПК - в конструкциях, где требуется подвижность ячеек, например, книжные конструкции, применяют гибкие электрические соединители нефиксированного монтажа.

ГПК - плата гибкая с проводниками



Представляет собой длинную узкую конструкцию печатной платы с печатным проводником вдоль платы, выполненную на гибком, тонком диэлектрике, например, фольгирование диэлектрической лавсановой толщиной 0,6...0,12 мм.





## Основные требования конструирования ПП и модули на платах

Метод производства печатной платы выбирается исходя из требуемой точности и плотности монтажа.

Сейчас имеют место 5 класса точности и плотности печатных плат ГОСТ 23757-86.

Элементы печатного Монтажа	Классы Точности				
	I	II	III	IV	V
Ширина печатных проводников	0,75 мм	0,45 мм	0,25 мм	0,15 мм	0,1 мм
Расстояние между проводниками, проводниками и контрольными площадками	0,75 мм	0,45 мм	0,25 мм	0,15 мм	0,1 мм
Расстояние от края отверстия до края контрольной площадки, в min	0,3 мм	0,2 мм	0,1 мм	0,05 мм	0,025 мм

Минимально допустимые размеры печатного монтажа по классовой точности

Платы I, II, III точности могут выполняться химические и комбинированные методы производства с ограничением размеров платы на более высоких классах.

Платы IV и V класса - электрохимический метод (охлаждение Cu на предварительно нанесенный тонкий рисунок печатного монтажа).



Для печатных плат выбирают материалы, исходя из климатических условий эксплуатации и механической прочности. Широко применяют:

1) Гетинакс фольгированный (ГФ)

ГФ-1 (односторонний)-35 мм (толщина фольги)

ГФ-2 (двухсторонний)-35 мм

ГФ - гигроскопичен, т. е. впитывает влагу, теряет диэлектрические свойства; применяется лишь в стационарных бытовой аппаратуры, не применяется на подвижных объектах.

2) Стеклотекстолит фольгированный (СФ)

СФ-1-35

СФ-2-35

СФ-1-50

СФ-2-50

ГОСТ 10-316-79

СФ - влагоустойчив, не гигроскопичен, имеет большую, чем ГФ, механическую прочность для аппаратуры подвижных объектов и для любой аппаратуры в условиях повышенной влажности.

СФ с толщиной фольги 50 мкм - в конструкциях, где больше токи схемы.

3) Для производства многослойных печатных плат требуется диэлектрик тонкий, прочный и теплостойкий.

Широко применяют, например:

СТФ-1 (стеклотекстолит теплостойкий фольгированный)

СТФ-2

Допускает эксплуатацию при  $t = 150^{\circ}\text{C}$ .



Для исполнения отдельных слоев многослойной печатной платы может быть толщиной 0,13 мм, 0,15 мм, 0,2 мм и т. д. И может применяться для одно- и двухсторонних печатных плат толщиной 0,15; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мм.

Для исполнения гибких печатных кабелей применяют диэлектрик тонкий, гибкий, например:

ФДЛ - фольгированный диэлектрик лавсановый

ФДП - с толщиной 0,06 мм до 0,12 мм.

Размеры платы:

При проектировании ПП необходимо обеспечить min габаритные размеры - max плотность компоновки ПП рекомендуется прямоугольные конфигурации с предельным соотношением сторон не более 3:1 (ГОСТ 10317-79) - > размеры печатной платы могут быть:

- 1) размеры платы должны быть кратны  $l = 2,5 \text{ мм } N$ , если  $l \leq 100 \text{ мм}$ ;
- 2) размеры платы должны быть кратны 5 мм, если  $l > 100 < 350 \text{ мм}$ ;
- 3) размеры платы должны быть кратны 10 мм, если  $l > 350 \text{ мм}$ .

Предельно допустимый размер печатного листа 470 мм.

Для простановки размеров и обеспечения требуемой точности производства на печатных платах применяют координационный метод, т. е. на чертеже ПП тонкими линиями типа выносных изображается координационная сетка. Основной шаг координационной сетки 2,5 мм, для высокоточных и плотных конструкций применяется шаг координационной сетки 1,25 мм и 0,5 мм.

При машинной разработке плат координационные линии могут не изображаться, а отмечаться лишь насечками по краю платы.



За начало координат принимают левый нижний угол или левое нижнее отверстие на печатной плате.

Координатные линии или насечки нумеруются по каждой линии либо через 1,2, но не более чем через 4 линии.

В технических схемах требуется указывать шаг координатной сетки. При конструировании ПП должны выполняться следующие основные требования:

1. Выводы электрорадиоэлементов должны размещаться в отверстия или на прямоугольной контактной площадке, расположенной в узлах координатной сетки.

2. Длина печатных проводников должна быть минимальной, а значит соединяемые по схеме элементы, должны размещаться рядом соединяемыми выводами на встречу друг другу.

3. Элементы устанавливаются на плату по вариантам согласно ОСТу - ОСТ 4.010030-92.

Элементы устанавливаются правильными рядами параллельно или перпендикулярно сторонам платы.

4. При плотной компоновке элементов, особенно МС - контактные площадки могут быть не круглыми, а подрезанными до в min (минимум возможного значения).



$$D_{\min} = d_0 + \Delta d_{B_0} + 2B_{\min} + \Delta t_{B_0} + \sqrt{T_d^2 + T_0^2 + \Delta t_{HO}^2}$$

$d_0$  - диаметр монтажного отверстия под штырьковые выводы элементов выбирается в зависимости от диаметра вывода элемента и должен быть на 0,2...0,3 мм больше диаметра вывода  $d_{\text{вывода}} \leq 1$  мм если вывод тонкий и на 0,3...0,4 мм больше, если вывод толстый  $d_{\text{вывода}} \geq 1$  мм.

$\Delta d_{B_0}$  - допуск на диаметр отверстие - его верхнее отклонение,  $d_{\text{отверстий}} < 1$  мм в III классе точности

$\Delta t_{B_0}$  - допуск на ширину печатного проводника (верхнее отклонение) зависит от класса точности  $\Delta t_{B_0} \approx b_{\min}$

т. е. в III классах:  $\Delta t_{B_0} = \pm 0,1$  мм под корнем учитывается среднеквадратичное отношение элементов печатного монтажа;  
 $T_d$  = позиционный допуск, т. е. погрешность размещения отверстий на плате.

Выбирается по классу точности платы.

Минимальный диаметр контрольной площадки в узком месте рассчитывается, исходя из выбранного класса точности платы.





Размеры платы	Позиционный допуск $T_d$				
	1	2	3	4	5
до 180 мм	0,2	0,15	0,08	0,05	0,05
180-360	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
свыше 360	0,3	0,25	0,15	0,10	0,10

т. к. МС со штырьковыми выводами требуют точность размещения отверстий  $\pm 0,1$  мм, то платы ячеек можно выполнять в III классах или выше.

Позиционный допуск, т. е. точность размещения контрольной площадки для III класса он равен 0,15 мм, если плата до 180 мм.

Позиционный допуск равен 0,20 мм, если плата 180 - 360 мм.



### Основные требования печатного монтажа 200 км

При компоновке печатной платы должна обеспечиваться минимальная плотность монтажа, т. е. минимальные размеры платы.

Ширина проводника - величина тока, допустимая плотность тока в печатном проводнике.

Если в навесном монтажном  $j = 10 \text{ а/мм}^2$ ,  
то в печатном проводнике  $j = 20 \text{ а/мм}^2$   
Если перегрев допускается,  $j_{\text{допуст.}}$  больше.

Допустимая плотность тока в печатном проводнике гораздо больше, чем в навесном объемном, так как он лучше охлаждается.

$$j_{\text{допуст.}} = J / S = J / bS \leq 20 \text{ а/мм}^2$$

$J$  - ток

$\delta$  - толщина фольги

$$b \geq I / \delta j_{\text{допуст.}}$$

Исходя из допустимой плотности тока ширина печатного проводника  $b$  рассчитывается по формуле:

При толщине фольги 50 мкм на каждый ампер тока, следовательно, если токи малы, следовательно, проводник очень тоненький - толщина обусловлена технологией - выбранного класса.



В узком месте - минимальное значение ширины выбранного - (0,25 мм - III класса); в свободном месте ширина проводников рекомендуется по min значению предыдущего менее точного класса, чем выбранный (0,45 мм).

Более широкие проводники исполняют для сильноточных цепей (питания, корпуса, узлы и блоки источника питания).

Если токи очень большие (до 10 А), то целесообразно вместо печатного проводника навесной проводник питания или шину питания.

Расстояние , мм	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	1	0,8	0,9	1,2	1,5	2,5
Напряжени е, не более, В	20	30	75	100	125	150	250	175	200	300	400	500

Зазоры между проводниками, печатными площадками и элементами выбираются исходя из электрической прочности на пробой.

Между корпусами электрорадиоэлементов зазоры исходя из электропрочности воздуха и жесткости крепления элемента.

При жестком креплении элемента можно исходить из электрической прочности воздуха (1 см воздуха - 30 кВ сухой чистый)

Можно видеть, что удалять элементы друг от друга приходится увеличивать расстояние на 1 шаг - 2,5 мм, следовательно, чтобы получить плотные конструкции выбирают шаг 1,25 или 0,5 мм.



Элементы должны располагаться так, чтобы не было пересечения проводника, не предусмотренные схемой.

Если проводник не проходит без пересечения других печатных проводников, то его приходится прерывать, исполнять монтажные отверстия и перебрасывать на другую область платы навесным проводником перемычкой или другим печатным проводником, если двусторонняя плата.

При размещении трасс печатных проводников допускается:

1. размещать печатные проводники по линиям координат и между линий координат, между монтажных отверстий элементов.
2. Печатные проводники могут располагаться под углом к координатной сетке, кратными 15 градусам.
3. Допускается произвольная конфигурация проводников.

Элементы устанавливаются на ПП по ОСТ 4.010.030-92.

Элементы могут устанавливаться по различным вариантам, которые различаются номером и буквой.

Номер и буква различают установку элемента с зазором или без зазора над платой и различной формовкой выводов.



## Основные требования оформления чертежа печатной платы

На чертеже печатной платы наименование изделия - плата печатная - деталь - на чертеже обязаны быть все размеры, допуски на все размеры, шероховатость всех поверхностей.

Все размеры на исполнение печатной платы оказывается удобнее обозначить, используя координатный метод - тонкими линиями типа выносных на чертеже печатной платы координатная сетка, нумеруется, шаг координатной сетки в техническом требовании чертежа. Чертеж ПП в масштабе 2:1 может быть 4:1; допускается масштаб 1:1 с разрешением и согласованием службы главного технолога.

Печатные проводники и контрольные площадки могут изображаться реальным очертанием со штриховкой плоскости как металл.

Допускается упрощенное изображение проводников и контрольных площадок утолщенной линией толщиной в две контурные.

Информация о ширине проводников, контрольных площадок, отверстиях - в технических требованиях чертежа - информация об отверстиях и контрольных площадках рекомендуется оформить таблицей на свободном поле чертежа.

Информация о ширине проводника и расстоянии между проводниками в свободном и узком месте указывается либо таблица, либо отдельные требования.

- 1 - Ширина проводника
- 2 - Зазор



Краевое поле - не менее толщины платы.

При размещении отверстий и печатного монтажа край платы не занимает: должно быть, краевое поле - от края платы до края отверстия не менее толщины платы.

На чертеже печатной платы может выполняться дополнительный вид без печатных проводников и контрольных площадок с отверстиями и маркированными знаками. Для выполнения маркировки.

Требования по маркировке в технических требованиях.

Большая часть допусков на исполнение печатной платы определяется выбранным классом точности - он в технических требованиях.

Шероховатость поверхности указывают без обработки по плоскостям печатные платы.

В технических требованиях:

1. Плату изготовить химическим методом (комбинированным).
2. Плата должна составить ГОСТ 23752-79.

Группа жесткости: (обычно 3), ГОСТ 23751-86 Класс точности (3)

$$T_{\max} = 100 \text{ градусов } C - T_{\min} = -60 \text{ градусов } C$$

5 класса точности, 4 группы жесткости - определяет требования к плате по климатическим условиям в 3 группах жесткости - плата выполняется на температуре окружающей среды

относительная влажность воздуха 90 процентов при  $T = 40$  градусов  $C$  и атмосферное давление до 400 мм ртутного столба.

3. Шаг координатной сетки (2,5 мм; 1,25 мм).

4. Указываются требования по элементам печатного монтажа - можно оформить в виде таблице на свободном поле чертежа.



5. Размеры для справок (например, толщина платы, т. к. определяются в сортаменте).

6. Покрытие: конструктор может предлагать конструктивные покрытия для улучшения способности к пайке, защиты от коррозии, улучшения электропроводности; улучшения износоустойчивости.

Например, прочность на истирание концевых контактов печатной платы, которые оформлены печатные проводники, применяют покрытие Ag - сурьма толщиной 6-12 мкм.

7. Масса покрытия (указывается только для драгоценных металлов).

8. Маркировать... (чем и как, например МКМУ - краска черная, МКМБ - белая) шрифт № (обычно) по ГОСТ



## Технологические требования проектирования РЭС

При проектировании РЭС конструктор должен выполнять ограничения, продиктованные техническими требованиями различного назначения.

Технические требования бывают:

1. Специальные и экономические.
2. Общие технические требования.

Специальные - это требования, продиктованные схемой электрической принципиальной, т. е. функциональной особенностью изделия. Экономические требования определяют целесообразность разработки проектируемого изделия.

При проектировании приходится считать экономический эффект от производства за счет снижения себестоимости проектируемого изделия по сравнению с аналогом.

Или же рассчитывается экономический эффект от эксплуатации за счет больших функциональных возможностей проектируемого изделия.

ОТТ (Общие технические требования) - это ограничения на проектируемую конструкцию, обязанную для любых РЭС, не зависимо от функциональных особенностей.

В зависимости от назначения ОТТ бывают:

1. Общеконструктивные.
2. Общеэксплуатационные.





1.

- а) надежность;
- б) минимальные габариты и масса конструкции;
- в) преемственность конструкции;
- г) технологичность;
- д) электромагнитная совместимость.

2.

относят требования, продиктованные особенностями эксплуатации.

- а) заданные условия климатические и механические;
- б) удобство эксплуатации;
- в) безопасность эксплуатации;
- г) ремонтпригодность;
- д) эргономичность конструкции;
- е) эстетика.

Минимальные габаритные размеры и масса как общетехнические требования.

При проектировании любого класса аппаратуры должны экономить массу, материал и энергетику конструкции.

$$K = \varphi_M M + \varphi_V V + \varphi_\lambda \lambda + \varphi_C C + \varphi_P P$$

При решении задачи уменьшении габаритов и массы необходимо оценивать и оптимизировать комплексный показатель качества.

Для того, чтобы получить оптимальные показатели качества не достаточно только уменьшить массу и габариты конструкции, но и сохранить другие параметры в допустимых пределах.



При решении этой задачи возникают проблемы, прежде всего охлаждения и надежности.

$$P_{уд} \leq 15 \text{ Вт/дм}^3$$

Считают, что проектируемое изделие потребует интенсификации охлаждения элементами локального или общего охлаждения, если

Кроме того, необходимо учитывать стоимость предполагаемых решений, которые зависят не только от степени миниатюризации, но и от объемов производства.

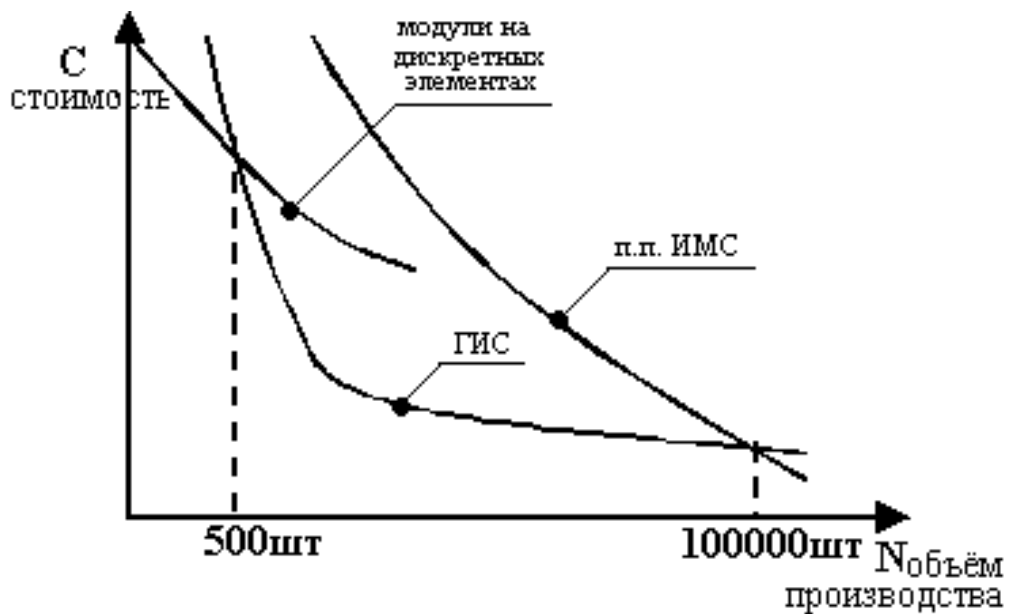
Генеральным направлением миниатюризации конструкции, которое позволяет улучшить комплексный показатель качества, является комплексная миниатюризация РЭА, т. е. применение МС и микросборок.

Стоимость микросхемы микросборок существенно зависит от объемов производства и при определенных условиях будет дешевле, чем стоимость на дискретных элементах.

Стоимость любого изделия существенно уменьшает с увеличением объема производства.

При серии уже 500 шт. нужно переводить на ГИС (мелкосерийное производство).

Производство п/г ЧМС оказывается обоснованным при крупносерийном или массовом производстве.



ИМС различают:

- 1) по степени интеграции
- 2) по функциональному назначению
- 3) по технологии производства

$$K_{\text{и}} = (\lg N) + 1 \quad (N - \text{шт. компонентов})$$

$$N = 1 \dots 10 \quad K_{\text{и}} = 1$$

$$N = 10 \dots 100 \quad K_{\text{и}} = 2$$

$$N = 100 \dots 1000 \quad K_{\text{и}} = 3 \text{ БИС}$$

Степень интеграции:

По функционированию бывают:

- цифровые (логика)
- аналоговые (линейно-импульсные)

По технологии бывают:

- гибридные



- полупроводниковые.

В обозначении ИС буквы и цифры

К (широкого применения) 217 (серия) ТК-1 (функциональное на-  
значение) (а - электрические параметры

2,4,6 - ГИС; 1,5,7 - полупроводниковые; 3 - пленочные

МС различных серий исполняют в корпусах различных типов:

ИС различного функционального назначения, но одной серии предпо-  
читают выполнять в

1 - типе корпусе, что упрощает конструкцию РЭС.

В настоящее время промышленность выпускает и рекомендует 5 типов корпусов.

У МС V типа корпуса выводы оформлены в виде металлизации по тор-  
цу основания микросхемы и она распаивается на прямоугольную площадку  
платы без вывода непосредственно на плату.

### Поверхностно-плоскостной монтаж

МС, а также подобные дискретные элементы без выводные требуют  
поверхностно плоскостного монтажа, т. е. монтажа без отверстий на прямо-  
угольные контактные площадки со стороны установки элементов. Большая  
плотность компоновки.



## Технологичность как общее конструктивное требование

Технологичность конструкции предполагает приспособленность конструкции к повышению эффективному автоматизированному производству заданного количества изделий в ограниченное время при  $\min$  затратах:

- материальных
- энергетических

Можно видеть, что оценка технического комплекса зависит от количества элементов частного применения предполагаемых конструкторов, зависит от времени проектирования, освоения в производстве и производство изделия, т. е. зависит от степени автоматизации производства.

В комплексной оценке технологичности оцениваются экономические показатели. соответственно оценивают технологическим показателем технологичность, которая рассчитывается как комплекс через частные.



## Преимственность конструирования как общетехническое требование

- Мах использование в конструкции уже готовых конструкторских решений.

П - предпосылка технологичности конструкции и уменьшение стоимости разработки и производства, предпосылка П - типизация, унификация и стандартизация.

Типизация (Т) - есть процесс ликвидации разнообразия изделий путем сведения их к обоснованному, ограниченному числу типов, размеров, для которых параметры или размеры получены из предпочтительного ряда.

Унификация (У) - процесс ограничения многообразия конструкций, предназначенных для выполнения одних и тех же или похожих функций.

У касаются конструкции узлов, блоков РЭА, которые могут быть унифицированными и называться модулями. У более высокая степень ограничения, чем ПП.

Стандартизация (С) - метод ограничения разнообразия и регламентирования единства качественных показателей изделий, классификаций, технических требований и технических условий на изделие, методов и технологий производства, методов испытания изделий, правил оформления документации на изделие, требований на упаковку, транспортировку, хранение изделий.

С - самая высокая степень ограничения разнообразия, обязательная к применению в рамках государства или отрасли.



С - в государственных стандартах ГОСТов или ОСТ - отраслевые стандарты.

Основная масса общих требований по классификации изделий, оформлению документации, по ее хранению и дублированным в государственных стандартах системы ЕСКД.

Например, в 4 разделе ЕСКД ГОСТ 2.417 - требования на оформление чертежей печатной платы.

Кроме государственных стандартов еще отраслевые стандарты, которые дополняют государственные, исходя из специфики электронных устройств.

В проектируемой конструкции должно быть max Т, У, С и min элементов частного применения, что увеличивает коэффициент технологичности изделия.

Эл/шаг - совместимость как общее конструктивное требование РЭС.

Различные радиоэлектрические устройства должны работать совместно, не мешая друг другу. В некоторых РЭУ - источники Э/м наводок и помех другие РЭУ - приемники помех - чувствительны.

Источники помех:

1. Все генераторы ВИ и провода с ВЧ токами провода около всякого с  $I = \text{const}$  или  $I$  - НИ электромагнитное поле напряженность  $E$  и  $H$ , но это поле сильно ослабевает при удалении, а именно обратно пропорционально квадрату расстояния.

Если генератор ВЧ и/или провод с  $I$  - ВЧ то  $H$  и  $E$  при удалении затухает слабо, возникает Э/м волна - причина наводки на другие элементы и РЭУ.



Кроме того, с увеличением  $f$  следовательно увеличивается паразитная связь между элементами в конструкции. На выходе уменьшается паразитное С сопротивление между элементами и увеличивается L сопр. что определяет связь по электромагнитному полю.

2. Все генераторы ре-локационных (Ре) (импульсных) колебаний и провода с I ре-локационными.

Всякий Ре сигнал можно представить разложением в ряд синусоидальных гармоничных составляющих широкого спектра  $f$  с убывающей амплитудой по частоте.

Чем меньше длительность импульса, тем шире спектр его частотных составляющих, тем сильнее помехонесущее влияние.

Амплитуда и энергетический спектр с увеличением  $f$  составляющих уменьшается, т. е. влияние помех в УКВ диапазоне меньше, чем на ДВ.

3. Все устройства, работа которых связана с разрывом электрических цепей под током. Например, тумблеры, выключатели, электромагнитное реле контакторы (переключатели больших I).

Всякий импульс включения и выключения может быть представлен разложением в ряд гармонических составляющих.

4. (Дребезг контактов) Все устройства, в которых наблюдается искрение на токоведущих, токосъемочных частях. Например щетки электродвигателя, бритва, пылесос, дроссель...

Всякая искра - импульс малой длительности, а значит широкого спектра помех.

5. Высоковольтные элементы устройств на острых гранях, которых наблюдается стекание зарядов, т. е. разряд.





## Приемники помех, т. е. чувствительные к помехам устройства

1. Усилители ВЧ и все усилители, особенно многокаскадные особенно радиоприемные (в приемниках) устройства.

2. Резонансные (С контуры и ВЧ катушки индуктивности, дроссели, т. к. на этих элементах происходит усиление напряженности магнитные поля принимаемой помехи. (Обязательна экранированность).

3. Вх цепи усилителей, даже НЧ, например от микрофона и звукоснимателя.

Для э/м совместимости помехонесущих и помехочувств устройств предлагают:

1. Удалить - пространственное разнесение помехонесущих и помехочувствительных элементов и устройств.

2. Ослабляют помеху у источника помех и у приемника помех посредством экранирования (Помех по цепям питания).

3. Т. к. помеха может передаваться по общим проводам источника и приемника помех, например, проводам питания, то предлагается применять фильтры, автономное питание (самостоятельное питание источника и приемника), применение LC фильтров в цепи питания источников помех (микроминимум - в размер резистора высокоомного намотать провод).



## Надежность как общетехническое требование к РЭС

Надежность (Н) - сложное качество - оценивает работоспособность конструкции в различных условиях эксплуатации.

Н - оценивают следующими показателями - безопасность = 1

2 = долговечность

3 = сохраняемость

4 = ремонтпригодность.

1. Требование к конструкции - обеспечивать работоспособность в заданных условиях эксплуатации непрерывно выполняя свои функции до определенного времени наработки до отказа.

Следовательно - критерий оценки 1 - время наработки изделия до отказа  $T_0$  или вероятность безотказной работы  $P(t)$  на заданное время  $t$ .

2. Требование к конструкции сохранять работоспособность в заданных условиях эксплуатации с перерывами в работе на техническом обслуживании на профилактические регламентные работы до тех пор, пока ремонт еще возможен или изделие морально не устарело. 2 - оценивается временем возможной эксплуатации изделия с техническим обслуживанием и ремонтом.

3. Способность конструкции сохранять работоспособность при длительном хранении или транспортировке 3 - оценивают временем хранения или транспортировки в заданных условиях, когда параметры изделия соответствуют ТУ.

1 - как требование Н.



две разновидности отказов и методик расчета.

I Постепенный отказы

II Внезапные отказы

I - постепенное изменение параметров под действием возмущающих факторов, например,  $t$  градусов С, когда параметры выходят за рамки допустимых норм.

Например, в радиопередающих устройствах при изменении  $t$  градусов С эксплуатации, следовательно, изменение частоты задающего генератора и передатчика в целом, что может быть выше допустимых норм для приема этой станции.

Постепенный отказ - обычно обратимый - параметры восстанавливаются при снятии возмущающих воздействий.

II - обычно необратимое, быстрое изменение параметров, когда элемент конструкции выходит из строя (сгорел резистор, пробит конденсатор).

Для расчета Н применяют различные методики.

Основа расчета Н по I и методы уменьшения Н.

$$y = f(x_1 \dots x_n)$$

Параметр устройства зависит от функции  $x$ -параметров. Меняется  $x$  на  $\Delta x$ .

Известно математическое описание выходных параметров  $y$  проектируемого изделия от параметров элементов  $x$ .

При изменении условий эксплуатации, например  $t$  градусов С  $\rightarrow$  изменение параметров  $x$  на  $\Delta x$ .

При этом будет иметь место изменение функции  $y$  на  $\Delta y$ .



При расчете надежности при I требуется рассчитать изменение функции  $y$  при изменении условий эксплуатации и сравнить с допустимыми нормами. Критерии увеличения Н - будет минимизация изменения выходного параметра  $y$

$$y = y_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i + \dots + \sum \frac{\partial f}{\partial X_i \partial X_j} \cdot \Delta X_i \cdot \Delta X_j$$

Для расчета возможных изменений выходного параметра  $y$  используют методы теорий точности, когда исследуемая функция  $y$  может быть представлена разложением в ряд Тейлора.

$$y = y_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i$$

Для оценки Нд по I ограничиваются слагаемыми разложение в ряд Тейлора 1-го порядка.

Для того чтобы поднять стабильность  $f$ , т. е. улучшить Н по I рекомендуется:

Для уменьшения ТКЧ:

1) Уменьшить ТК элементов схемы, т. е. предлагают элементы со стабильными параметрами, то есть метод параметрической стабилизации.

2) Предлагают метод компенсации, когда изменение параметров одного элемента компенсируются параметрами другого с другим знаком коэффициента влияния (+ТКИ и -ТКЕ). Например, в контур LC кроме основного С включают  $C_m$  - термокомпенсирующий - малой С но большого ТКЕ. Для ком-



пенсации возможных изменений выходного параметра применяют схемы с отрицательной обратной связью, например, в усилителях.

3) Исключают причину, вызвавшую изменение выходного параметра, например стабилизируют условия эксплуатации для чувствительных элементов конструкции. Например, в высокостабильных радиопередатчиках принимают термостабилизацию задающего генератора или его контура, т. е. размещают контур в микротермостат.

Безотказность по II

Методы расчета и повышение N

Для расчета методы теории вероятности и математической статистики

В расчете используют интерес отказов  $\lambda$

(статистические характеристики)  $\lambda = \Delta N / N \Delta t$

$$\lambda_{\text{общее}} = \sum \lambda_i$$

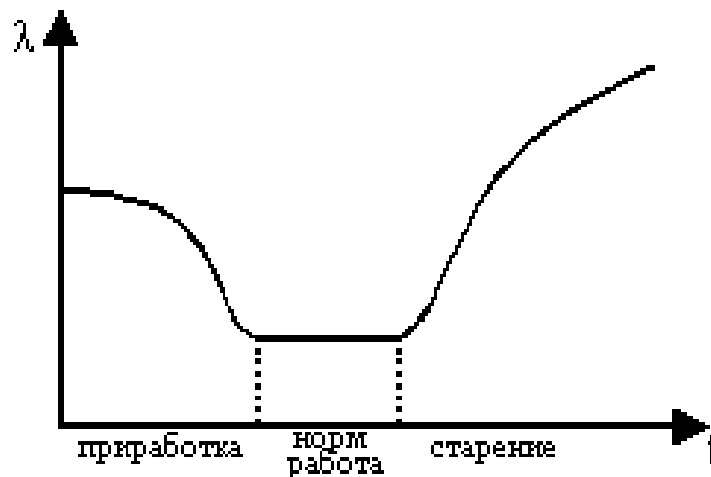
□ N - число отказавших элементов за время испытания  $\Delta t$ , N - общее число элементов.

Т. к. отказ любого элемента => отказ, то всего изделия

Интенсивность отказа любого элемента зависит: а) от времени эксплуатации.

Для повышения N проектируемое изделие необходимо применять приработанные электрорадиоэлементы.

Приработку должны выполнять на заводе-изготовителе - или для изготовленного изделия в целом.



Через интенсивность отказов элементов устройства можно рассчитать наработку на отказ.

$$\lambda = 10^{-7} - 10^{-8},$$

$\lambda$  зависит от точности и качества производства при высокоточных технологиях производства.

МС интенсивность отказа

$$(\lambda \cdot 10^6 \text{ и } 10^9 \text{ и меньше})$$

что выше, чем для дискретных R и C.

Для элементов высокой надежности

оказывается невозможным получить статистические данные по результатам испытаний (очень долгое время испытаний) тогда использует статистические данные по результатам отказов на эксплуатации или получить характеристики надежности расчетным путем при физическом моделировании этих изделий.



## Защита РЭС от механических воздействий

Вибрации характеризуются:

- $f$ , Гц;
- амплитудой  $A$ , мм;
- ускорение  $J$ , в единицах  $g$

Корабельная      5 - 35 Гц

Автомобиль            5 - 75 Гц

$$J = \omega^2 A / 9810 \text{ в единицах } g$$

$$J = (4\pi^2 f^2 A) / 9810 \text{ в единицах } g$$

Самолет            3 - 2000 Гц

Более удобна оценка вибраций не амплитудой, а ускорением при вибрации

Опасное воздействие вибраций определяется наличием сил перегрузки при возникающих ускорениях

$$F = (\text{масса} - \text{ускорение}) = MJ$$

$$\text{если } F = MJ$$

$$H = Hx(\text{ед. } g)$$

Проектируемая конструкция должна быть виброустойчивой (ВУ) и вибропрочной (ВП).

Предпосылками ВП и ВУ конструкции являются:

1. Некоторые элементы испытывают деформацию растяжения-сжатия

$$\Delta l = Fl / ES$$

Для уменьшения  $\Delta l$  нужно:



- а) уменьшить массу элементов конструкции (т. е. уменьшить  $F$ )
- б) уменьшить длину в элементов конструкции;
- в) увеличить  $E$  - модуль упругости материала – рекомендуется применять материалы большей прочности;
- г)  $S$  - площадь поперечного сечения элементов конструкции - не желательно увеличивать, т. к.  $M = qV = qSl$ .

2. Некоторые элементы испытывают деформации изгиба.

$$\Delta X = \frac{F \cdot L^3}{b \cdot E \cdot I}$$

Величина прогиба по формуле:

$$I = a^4 / 12$$
$$I = ah^3 / 12$$

а) можно заметить, что длина  $A$  элемента конструкции очень сильно влияет на величину прочности, т. к.

необходима при конструировании обеспечивать  $\min$  длину между крепежными точками элементов конструкции или предлагать промежуточные точки крепления для длинных элементов конструкции;

б) в коэффициент, зависящий от точки приложения силы;

в)  $I$  - момент инерции сечения элемента

$I$  - прямоугольник пропорционален толщине, т. е. координате  $y$ , а это значит - достаточно поставить прямоугольник на ребро, как  $I$  заметно увеличивается и прогиб уменьшается.

Следовательно, для увеличения прочности тонколистовых элементов конструкции, необходимо выполнять отбортовки или выдавки





I сложного профиля рассчитывается через I элементарных составляющих.

### 3. Вибрации опасны

тогда наблюдается резонанс, т. е.  $f$  собственных механических колебаний элемента совпадает с  $f$  возмущений вибраций.

При конструировании необходимо исключить резонанс, то есть собственная частота колебаний не должна совпадать с диапазоном частот возмущающих вибраций.

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{M}}$$
$$K = \frac{F}{\Delta X} \Rightarrow f_0 > f$$

Собственная частота колебаний зависит от жесткости и от массы элемента



## Основы конструирования ВП ячеек РЭС

Всякую плату с элементами - как пластину нагруженную массой элементов.

$$f_0 = (K_M K_E C_H) / a^2 \cdot 10^4, \text{ Гц}$$

$h$  - толщина платы, см

$a$  - длина платы, см

$C$  - коэффициент закрепления, который зависит от варианта закрепления платы и соотношения сторон ( $a/b$ )

$K_M$  - поправочный коэффициент на материал платы, учитывает различие жёсткости и плотности материала платы относительно стали

$$K_M = \sqrt{\frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{с}}} \cdot \frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{п}}}}$$

$E_{\text{п}}$  и  $E_{\text{с}}$  - платы и стали

$\rho_{\text{п}}$  и  $\rho_{\text{с}}$  - плотности

$K_B$  - поправочный коэффициент на вес элементов на плате

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{Q}{Q_{\text{п}}}}}$$

$Q$  - вес элементов на плате

$Q_{\text{п}}$  - вес платы

ПП (нагружена элементами)

Для прямоугольных пластин



При конструировании вибропрочной ячейки корабельной, автомобиля или самолета аппаратуры рекомендуется:

- а) уменьшать габаритные размеры платы (особенно  $a$  - длину) для аппаратуры с повышенной  $f$  возмущающих вибраций, например, самолетная;
- б) повышение  $h$  - толщину П с повышением  $f$  вибраций (0,8; 1,2, до 3 мм);
- в) увеличение жесткости конструкции за счет закрепления платы ячейки.

для предлагаемого варианта закрепления, в таблице  $\Rightarrow C$  - коэффициент закрепления  $\Rightarrow$  расчет собственной частоты ячейки.

Если предлагаемой жесткости конструкции недостаточно, то можно увеличить жесткость крепления, (рисунок)

предлагают закрепить с противоположной стороны платы через разъем и через колодку контроля.

Если колодки контроля не достаточно для требуемой жесткости, тогда жесткое крепление платы со всех сторон реализация - книжная конструкция или рамочная, т. е. каркасное исполнение, когда ПП крепится на металлическую или пластмассовую рамку, желательно уголкового профиля сечения.

В этом случае желательно, чтобы рамка была неподвижна в конструкции блока, значит лучше книжная конструкция, чем разъемная.

Если предлагаемой жесткости не достаточно, то можно предложить крепление платы в центре, предлагая промежуточное ребро жесткости на рамке.

Т. е. получаем две малые платы, а значит, большую собственную частоту, если прочности крепления недостаточно, то  $\Rightarrow$  (рисунок) еще одно по-



перечное или продольное ребро жесткости, как бы разбивая плату на мелкие, если элементы жесткости закрывают ПП и не позволяют размещать элементы - увеличить жесткость можно многослойным исполнением платы с тонколистовым несущим элементом.

Его тонкий лист металла обычно используют как теплоотводящее основание конструкции, т. е. теплоотвод от микросхем - (выводы МС в прорези металла).

Обычно такие теплоотводы исполняют из Al (но он не прочный), сделать отбортовки и в центре ребро жесткости

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\alpha}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m'}}$$

D - цилиндрическая жесткость 2-х слойной конструкции (гнем перпендикулярно ребрам)

$D = D_{\text{п}} (\text{платы}) + D_{\text{т}} (\text{теплоотвода})$

$m'$  - распределенная масса конструкции

$m' = (M_{\text{п}} + M_{\text{т}} + M_{\text{с}}) / a \cdot b$  (площадь платы)

Собственная частота этой конструкции рассчитывается по общей формуле через жесткость и массу каждой составляющей:

Можно видеть, что собственная частота увеличивается, если заметно повышение D, но не очень увеличивается масса (за счет легких металлов).



## Проектирование ячеек и блоков

Функционально-узловой, т. е. модульный метод проектирования и выполняют рекомендации стандартов.

Стандартизация модулей микроэлектронной аппаратуры обеспечивает совместимость модулей и возможность широко применимости модулей. Корпусированные - 5 различных типов. Для каждого типа корпуса стандарт ОСТ 4.010-030-92 определяет требования на установку этой МС на плате (шаг контрольных площадок, допуск).

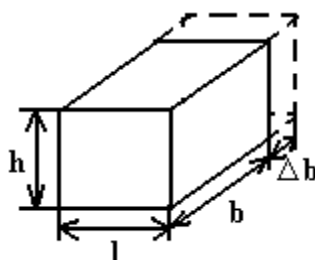
Ячейка, т. е. модель 1 уравнения - на ПП одно, двухсторонней или многослойной конструкции ПП ячеек в размерах должна выполняться согласно.

135x110	140x150	170x75
135x240	140x240	170x120
140x130	150x200	170x130
170x150	170x160	170x200

Для ячеек МК электронной аппаратуры - более узкий ряд типоразмеров ПП. Для радиоэлектронной конструкций: ОСТ 4.010.009 рекомендуется ряд размеров ячеек - мм.

Этот же стандарт рекомендует шаги размещения на плате в зависимости от количества выводов МС, требующих трассировки.

Блок 2 уровня - модуль, т. е. блоки - составляющие приборов или устройств радиоэлектронных - должны иметь входимость и сопрягаемость в модулях высокого уровня.



Стандарты определяют размеры блоков и рекомендуемые типы блоков.

Например ГОСТ 12863-67 определяют основные размеры вставных блоков для устройств настольного или стоечного исполнения.

Размеры могут быть рекомендованы прибору, т. к. например, этот стандарт для частичных блоков требует следующий ряд размеров:

$l = (20 \text{ мм}), 40 \text{ мм}, (60 \text{ мм}), 80 \text{ мм}, (100 \text{ мм}), 120 \text{ мм}, 160 \text{ мм}, (200 \text{ мм}), (240 \text{ мм}), 320 \text{ мм}, (480 \text{ мм})$

$h = (100 \text{ мм}), 140 \text{ мм}, 180 \text{ мм}, 220 \text{ мм}$

$b = (155 \text{ мм}), 275 \text{ мм}, 395 \text{ мм}$

$\Delta b$  не более 85 мм

Размеры, взятые в скобках допустимые, но не рекомендуемые.

Указанные размеры ограничивают полезный объем блока. За указанные габариты могут быть размещены элементы крепления фиксации, электрического соединения блока, например  $\Delta b$  определяет предельное приращение глубины на штыреловителе для фиксации блока, на электроразъем.

Это для вставных блоков - настольного типа.

$\Delta l$  и  $\gamma h$  - только на переднюю панель для крепления.

Модуль 3 уровня - стойка (шкаф)



Модули 3 уровня выполняются в унифицированных базовых несущих конструкциях (БНК). БНК содержат каркасы стоек, каркасы блоков в эти стойки и могут быть рамки для ячеек различных типов и размеров для различных условий эксплуатации.

Рекомендации проектирования микросистемных блоков различных типов.

Критерий выбора лучшего варианта исполнения конструкции является в максимальной степени удовлетворения общим техническим требованиям.

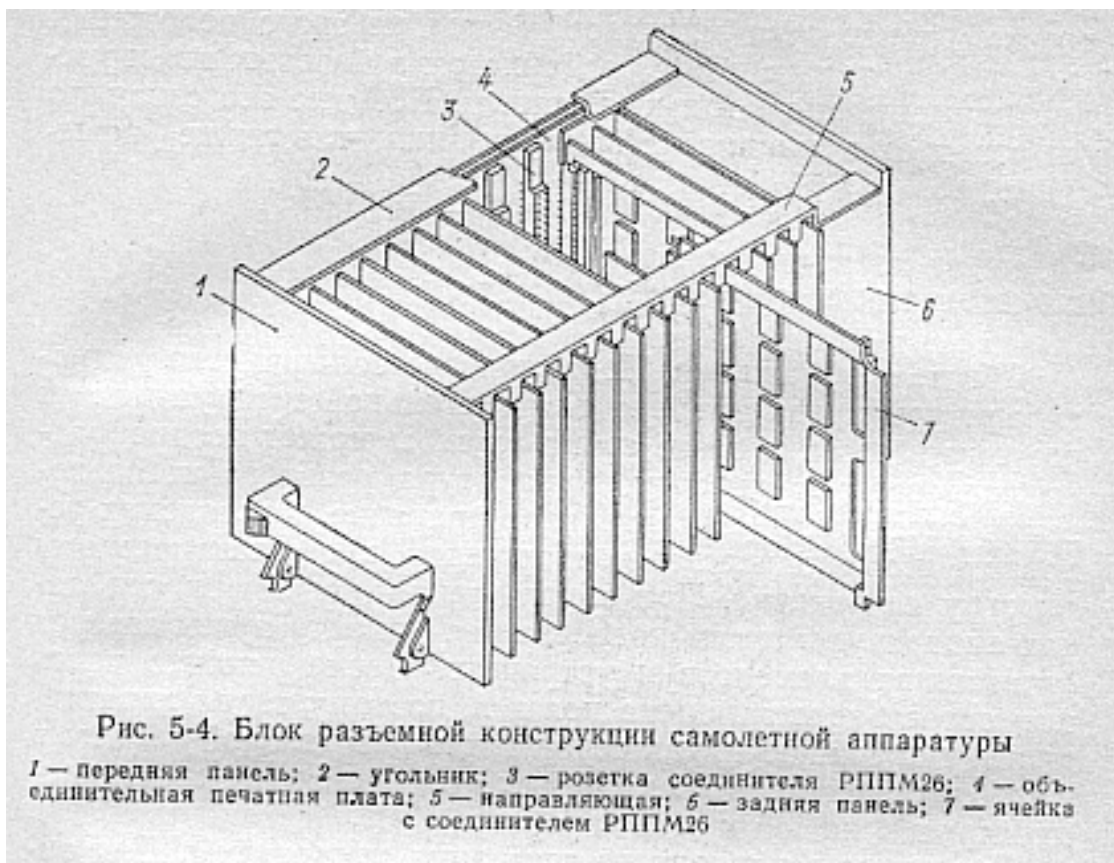
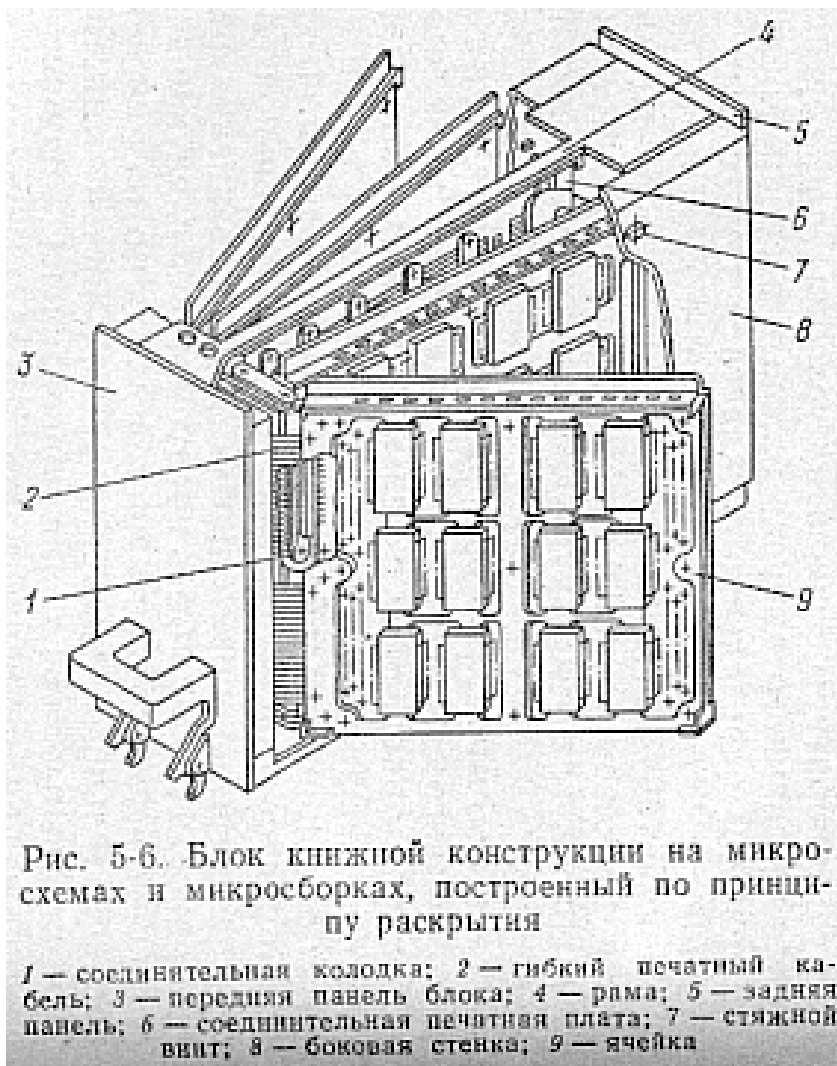


Рис. 5-4. Блок разъемной конструкции самолетной аппаратуры

1 — передняя панель; 2 — угольник; 3 — розетка соединителя РППМ26; 4 — объединительная печатная плата; 5 — направляющая; 6 — задняя панель; 7 — ячейка с соединителем РППМ26

Из многообразия возможных вариантов рекомендуется 2 основных типа конструкций микросистемных блоков.

### 1. Разъемная конструкции



## 2. Книжная

В блоках 1 ячейки имеют разъемное механическое и электрическое соединение.

Электрическое разъемное соединение ячеек выполняется с помощью электрического разъема, например вилка разъема на плате ячейки - розетка разъема на коммутационной объединительной плате блока.





Для разъемного механического соединения предлагают планку крепежную с невыпадающими винтами (или защелками).

В блоках 1 ячейки рекомендуется устанавливать вертикально параллельно или перпендикулярно передней панели.

Ячейки могут устанавливаться в 1 ряд или в 2 или даже 3 ряда.

Направляющие могут быть групповыми (пропилы в стенках) или индивидуальные, например пластмассовые для каждой ячейки.

Верхние и нижние стенки могут быть монолитные или в виде рамки, т. е. с вентиляционным окном.

"+" - просты по выполнению

"\_" - много разъемных электрических контактов следовательно ненадежность конструкции.

2. конструкция не позволяет прозванивать цепи, проверять режимы по U, т. е. в рабочем состоянии ячеек - можно частично устранить, если вилку или розетку разъема распаять на ПП через гибкий плоский кабель. Или гибкий П кабель (ГПК) длина которого чуть больше ширины блока. Однако в этом случае повышается время задержки сигнала в линии, а значит уменьшается быстродействие, уменьшается технологичность конструкции, увеличивается стоимость.

Можно также вместо крепежной планки на ячейку установить колодку контроля с невыпадающими же винтами.

Колодка контроля может быть со штырьковыми выводами, которые запаиваются на монтажные отверстия контролируемых монтажных проводников или с пазами-проточками под которые заводятся контролируемые проводники.



Разъемные конструкции имеют меньшую плотность упаковки, чем книжные в силу крупногабаритности разъема.

(2)

в 2-ячейки раскрываются как листы книги, имея подвижные шарнирные механические крепления и гибкое подвижное электрическое соединение.

С помощью рамки или планки несущей с петлями на ячейки и полуоси на несущей конструкции блока.

Электрическое соединение - кабель гибкий печатный или плоский.

Для подвижного блока стандартный плоский кабель или ГПК конструктором предлагаемый, который распаивается на печатную плату ячейки и на объединительную коммутационную плату в блоке.

Для жесткого крепления ячейки в закрытом положении блока предлагаются винтовые крепления, с другой стороны ячейка (не там, где шарнир).

Для того, чтобы предохранить МС соседних ячеек от соударений под крепежные отверстия для винтов предлагают планку-упор или развальцовывают втулки упора по высоте больше, чем высота МС.

Для конструкции высокой жесткости ячейки могут быть каркасными, т. е. рамочными.

Несущая рамка ячеек - пластмассовая или металлическая - легкой, уголкового профиля сечения.

ПП к рамке может крепиться винтами либо пустотелыми заклепками, либо приклеиваться по периметру.

"+" 1. Обеспечивает возможность контролем измерения режимов на любом электрорадиоэлементе под напряжением в рабочем состоянии блока.

2. Более высокая надежность <= неразъемные электрические соединения.

3. Увеличенная плотность компоновки, чем в разъемной конструкции, т. к. гибкие электрические соединители плоские, ниже МС.



### Компоновка ячеек и блоков

Необходимо обеспечить максимальную плотность упаковки

V - объем, N - количество элементов компоновки.

Сложность поиска оптимального варианта в.

1. Широкий ряд допустимых типоразмеров ячеек.
2. МС на ячейке могут размещаться в разных вариантах, отличающихся поворотом МС на 90 градусов.
3. Блоки микроспециальной аппаратуры соответствуют широкому ряду возможных значений.

Разрешаются все возможные сочетания размеров длины, ширины и высоты блока из стандартного ряда размеров.

Ячейки в блок могут устанавливаться вертикально, параллельно или перпендикулярно передней панели.

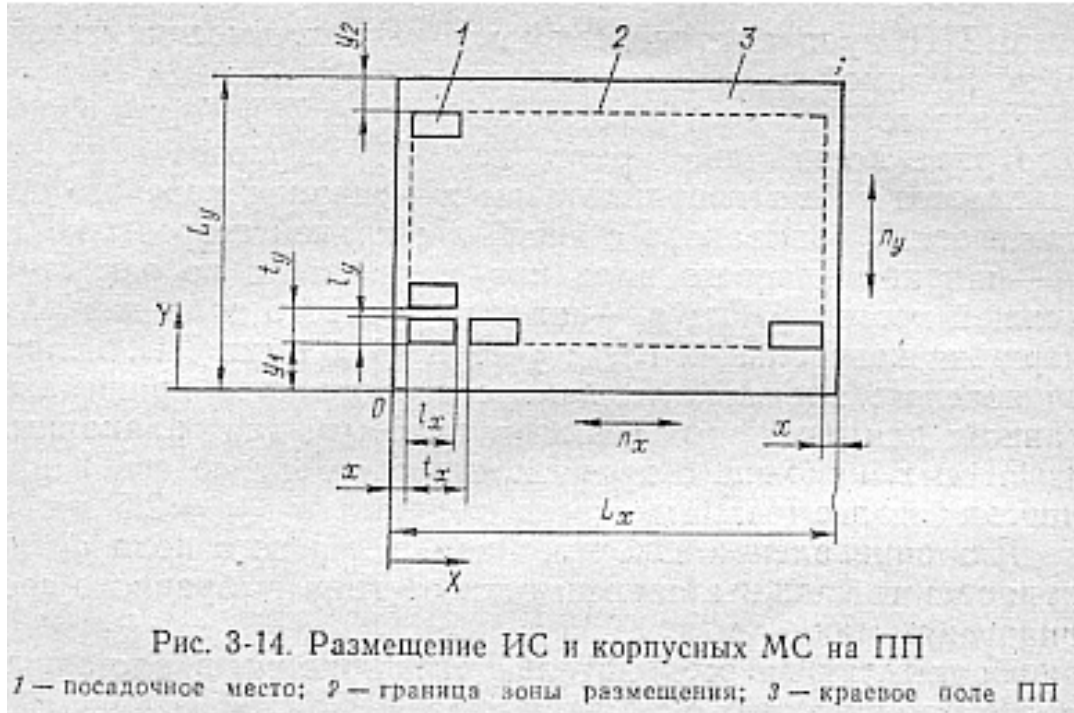
5. Ячейки в блоке могут размещаться в 1, 2 или 3 ряда и в 1, 2 или 3 колонки.

$$L_x \times L_y$$

При компоновке ячеек микроспециальной аппаратуры рекомендуется:

Размеры ПП не могут быть произвольных значений и выбираются из стандартного ряда.

1. По краю ПП размещается электрический соединитель - разъем или гибкий плоский печатный кабель в книжной конструкции, которое требует крайнее поле



У<sub>1</sub>. Краевое поле указывается в технических условиях электрического соединителя.

(У<sub>2</sub> - колодка или планка)

3.

С другой стороны на ячейки предлагаются колодки контроля или планки крепежные в разъемы или опорные элементы - элементы крепления в книжной конструкции. Эти элементы требуют краевое поле У<sub>2</sub>, которое для колодки - в ТУ - колодки.

(Если один МС - то размещать правильными рядами)

4. МС и микросборки на ПП ячейки рекомендуется размещать рядами.

$t_x$  и  $t_y$

Чтобы получить плотную упаковку шага установки МС



рекомендуется стандартом в зависимости от типа корпуса МС и от количества выводов в корпусе, занятых по схеме.

5. Краевые поля: от края платы до крайнего ряда МС выбираются в зависимости от типа корпуса и могут быть от 2,5 до 5 мм.

Количество МС в ряду  $n_x = (L_x - X_1 - X_2 - l_x) / t_x + 1$

Количество МС в столбце  $n_y = (h_y - Y_1 - Y_2 - l_y) / t_y + 1$

$l_x$  и  $l_y$  - разъемы МС по  $x$  и  $y$  направлению, которые заняты МС на плате.

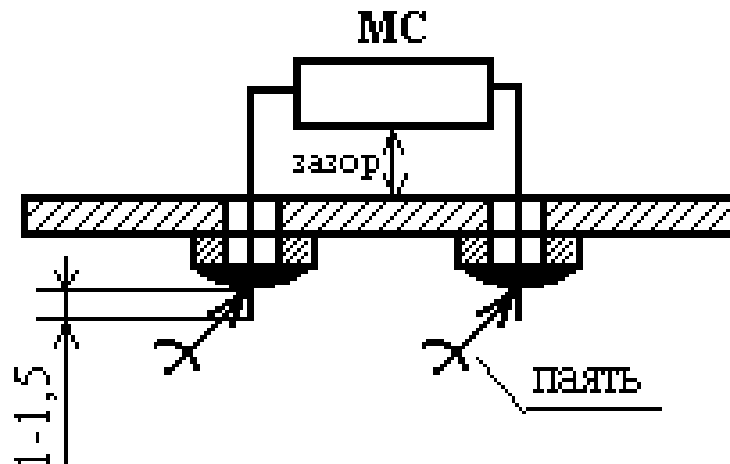
Количество МС на ячейке:  $n = n_x n_y i$

$i=2$  для двух плоскостей,  $i=1$  для односторонней конструкции.

$i$  - количество плоскостей на плате ячейки, занятых МС

МС со штырьковыми выводами рекомендуется размещать с одной стороны платы, т. е. конструкция односторонняя,  $i=1$ .

6. Количество МС, которые могут разместиться на рабочем поле платы можно определить расчетным методом компоновки.



МС со штырьковыми выводами размещается в монтажные отверстия на ПП с зазором корпуса над платой.



Необходим зазор, чтобы при пайке не перегреть МС зазор от 1 до 3 мм. Его величина зависит от типа корпуса МС. Вывод должен торчать - не должен подрезаться - на высоту 1-1,5 мм для контроля качества пайки и при подрезании возможно повреждение пайки.

Но с планарными выводами - могут размещаться с 2-х сторон печатной платы  $i = 2$ .

МС с планарными выводами устанавливается на плату с зазором 0,6 мм - иначе выводы не достанут до площадок и распаиваются на прямоугольные контактные площадки платы.

Разметка контрольных площадок и их форма определяются стандартом ОСТ 4.010.030-92 - в зависимости от типа корпуса МС.

Точность размещения контрольной площадки -  $\pm 0,1$  мм, что определяет необходимость исполнения платы по III классу точности.

Печатные проводники могут размещаться между контрольными площадками МС и под МС с минимально возможной шириной и min возможными зазорами в выбранном классе точности.

Количество контактных площадок должно быть равно числу выводов МС, т. к. металл распаивается по всем выводам.

Для однозначной установки металла на ПП контактная площадка вывода исполняется с ключом в виде усика длиной 1-2 мм, повернутого в свободную от проводников сторону.

У МС, если смотреть на основание со стороны выводов 1 вывод левый крайний верхний и все другие номера по часовой стрелке от первого.

Для прочности монтажа МС предлагается:



1. Металлизируют монтажные отверстия, предлагая комбинированный или электрохимический метод производства.
2. Выполняют столько контрольных площадок, сколько выводов у МС.
3. Выбирают зазор установки МС, если он не большой креплением МС на клей или компаунд, или же диэлектрической прокладкой.
4. Если МС с планарными выводами или со штырьковыми выводами - 2 тип корпуса - большой мощности, то для их охлаждения может предлагаться теплоотводящая шина под МС.
5. Для того, чтобы шина не замыкала печатные проводники на плате, между шиной и платой - устанавливают прокладку диэлектрика из стеклоткани СП-1 0,1 мм.

$$Q_m = (1 \Delta t S) / \delta$$

Следовательно под МС с планарными выводами толщина шины не более 0,5 мм

Теплопроводность:

Интенсивность теплового потока через теплопровод - шину по закону Фурье.

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала теплопровода

$\Delta t$  - разность  $t$  градусов С нагретого и "холодного" конца теплопровода

$S$  - площадь сечения теплопровода

$\delta$  - длина теплопровода

шина из Al обычно - теплопроводная (материалы высокой  $\lambda$ ), лучше Cu, но она более дорогая и тяжелая.



Если МС большой мощности и требуется большое сечение теплопровода, то можно применять теплоотводящее основание под МС.

Теплоотводящее основание обычно применяют под МС 2 типа корпуса или под МС сборки с проволочными выводами, когда одно общее основание является теплопроводящим для всех МС и несущим для ячейки.

Для того, чтобы выводы МС распаять на плату в теплоотводящем основании выполняют прорези.

Для жесткости теплоотводящего основания предлагаются отбортовки по его периметру и может быть, ребрение в центре.

Для крепления МС на шину или теплоотводящее основание применяют клей или компаунд, лучше если он эластичный демпфирующий, например эластосил.

Теплопроводимость  $\lambda_T$  на порядок или 2 порядка ниже, чем у клея, а следовательно тепловое сопротивление  $R_x$  получается больше, чем  $R_T$ . Необходимо уменьшить  $R_x$  за счет уменьшения толщины клеевого соединения, а не уменьшить  $R_T$  вследствие увеличения  $S_T$ . Рекомендуется уменьшить  $R_x$  путем уменьшения толщины  $\delta_x$  до 0,1 мм, увеличивается  $l_x$ , т. е. клей компаунды с увеличением теплопроводности.





$$R_x = \delta_x / (\lambda_e S_x)$$

$$R_T = \delta_T / (\lambda_T S_T)$$

$$\lambda_T = \lambda_{\text{вз}} \approx 150$$

$$l_x < 1$$

Теплоотводящее основание могло бы быть по толщине до 3-х мм - как позволяет МС, но его толщину ограничивают.



## Эволюция компоновочных вариантов микροэлектронной аппаратуры

Основное направление:

1. Min габаритов и массы, т. е. увеличение плотности упаковки.

$$C = K_1 (K_2 N + K_3 M)$$

$$C \approx N + M$$

2. Увеличение эффективности производства, т. е. автоматизация производства => увеличение надежности и качества.

Один из показателей микροэлектрической конструкции - сложность.

N - количество электрорадиоэлементов, например MC в проектируемом изделии

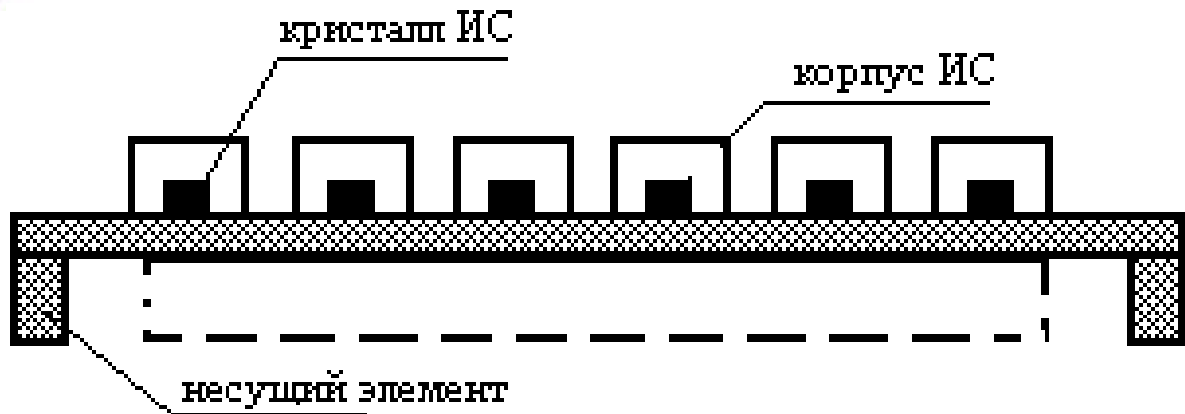
M - количество (соединительных проводов) монтажа в проектируемом изделии

K<sub>1</sub>, K<sub>3</sub> - оценивают надежность элементов и монтажа - весовые коэффициенты, например вероятности безотказной работы.

K<sub>1</sub> - весовой коэффициент, учитывающий особенности сравниваемых устройств.

Сейчас тенденция на увеличение степени интеграции элементарной базы => к увеличению сложности MC и увеличению сложности блоков и устройств.

Такая тенденция (перекачка сложности из устройства в элементную базу) оправдана автоматизацией производства MC и MC сборок и уменьшения их массы и габаритов за счет увеличения сложности MC.



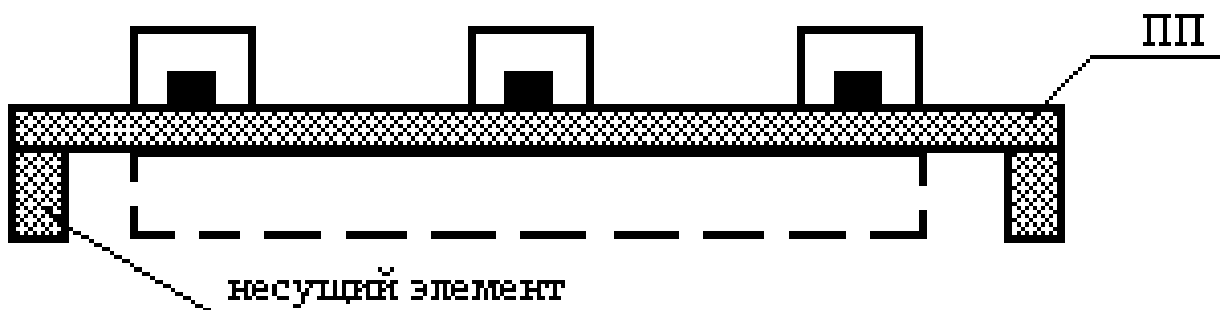
В указанном направлении развития конструкции 6 уровней развития - компоновки, которые соответствуют различным степеням интеграции ячеек и блоков для конструкции 1 уровня, т. е. 1 степени интеграции характерно:

В микроэлектрической аппаратуре 1 степени интеграции 1 уровня коэффициент интеграции = 1.

МС на ПП с односторонней или двухсторонней компоновкой конструкция ячейки.

Конструкция каркасная - с несущим элементом и без корпуса в зависимости от количества плат в ячейке и механическом воздействии.

II уровень уменьшения размера за счет увеличения сложности элементной базы.

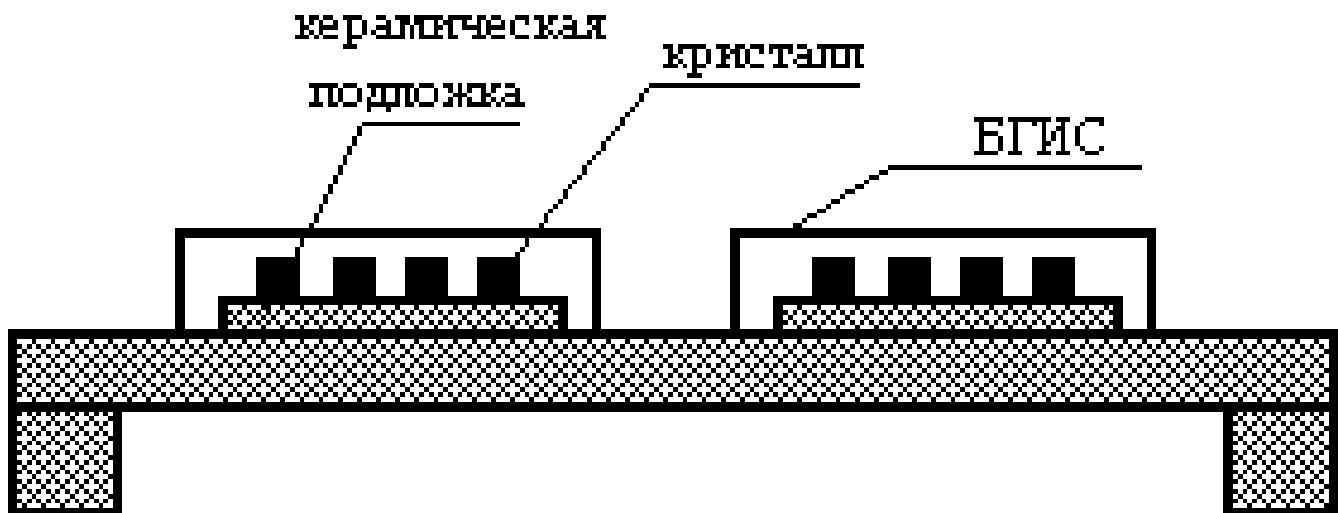




В конструкции микроэлектрической аппаратуры второй степени интеграции элементная база - корпус ИС 2 степени (коэффициент интеграции 2).

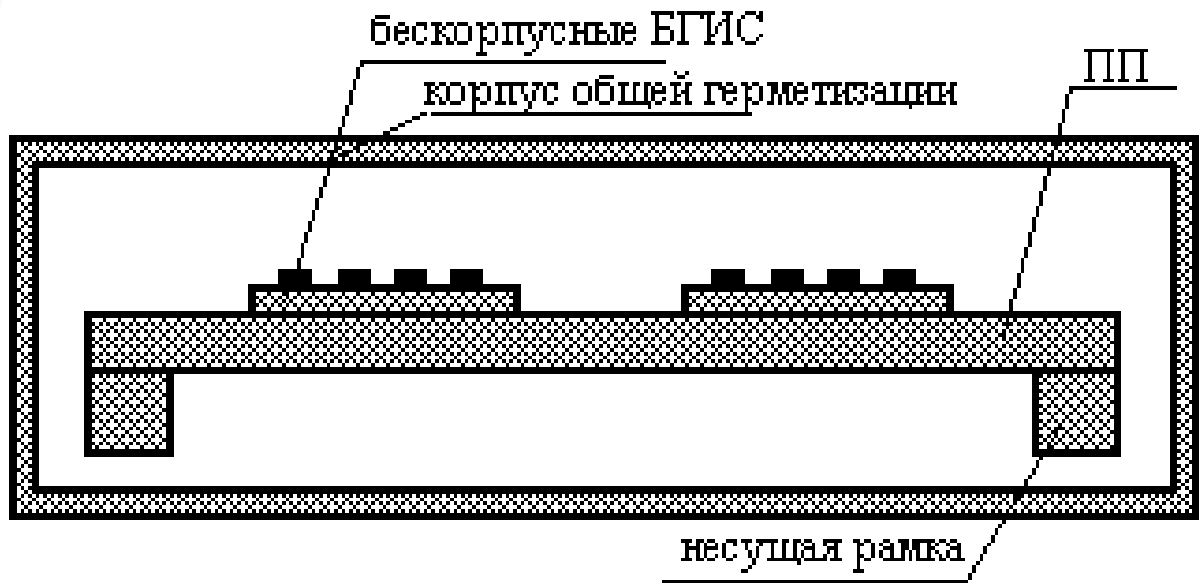
III уровень (рисунок)

В качестве элементной базы => уменьшить количество корпусов и даже при большем шаге размещения получить большую плотность упаковки.



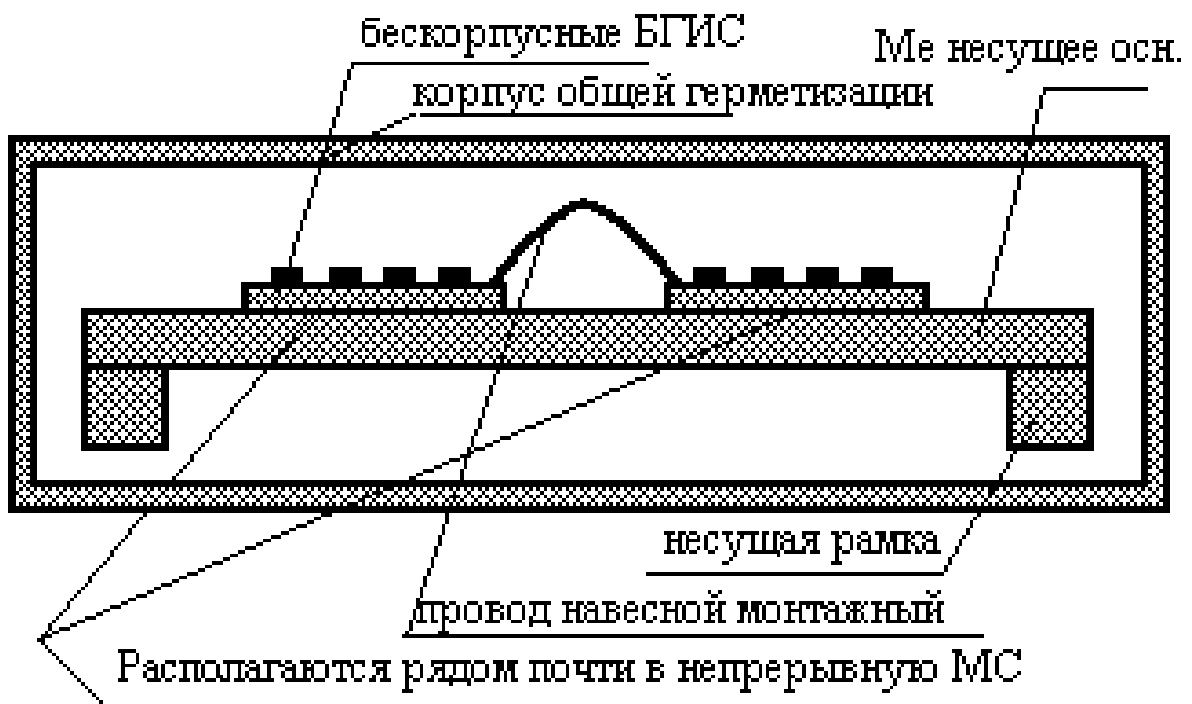
VI уровень - степень интеграции применяют многокристальные БИС, выполненные по гибридной технологии. Корпусированные БГИС - Б гибридные интеграционные схемы с керамической подложкой.

2-й этап элементов может быть в конструкции ячейки, но на рисунке убрали, чтобы соблюдать масштабность рисунка по объему конструкции.



V уровень в конструкциях в качестве элементной базы бескорпусные БГИС или бескорпусные МС - МСБ

Конструкции обеспечивают некоторый выигрыш по плотности упаковки.





Эти конструкции требуют общей герметизации проектного устройства, т. к. элементная база герметизирована.

VI уровень

МСБ располагаются плотно, рядом, образуя непрерывную МС - электрический монтаж - навесными монтажными проводниками, ПП коммутационной нет, МСБ на металлопроводящее основание.

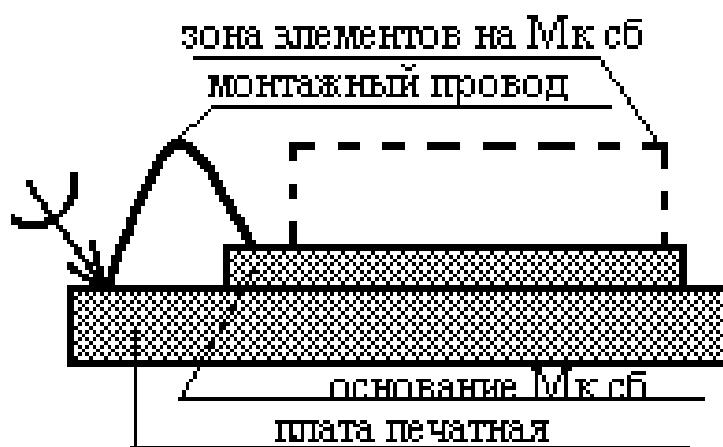
Конструкция устройства требует общей герметизации.



## Особенности корпусирования МЭА на МС - без корпусные и корпусные БГИС

Безкорпусные БГИС рекомендуется выполнять на диэлектрическом основании, например керамика по тонкоплёночным или толстоплёночным технологиям.

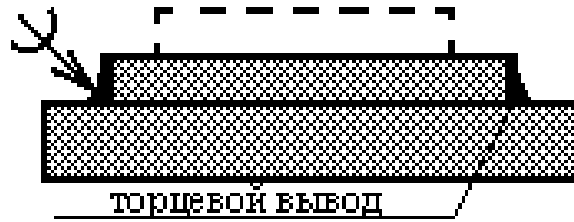
Мах размер основания микросборки 60x48 и может быть меньшим за счет разрезания 30x24, 15x12 и т. д.



Бескорпусные МСБ с планарными или торцевыми выводами для распайки на ПП ячейки.

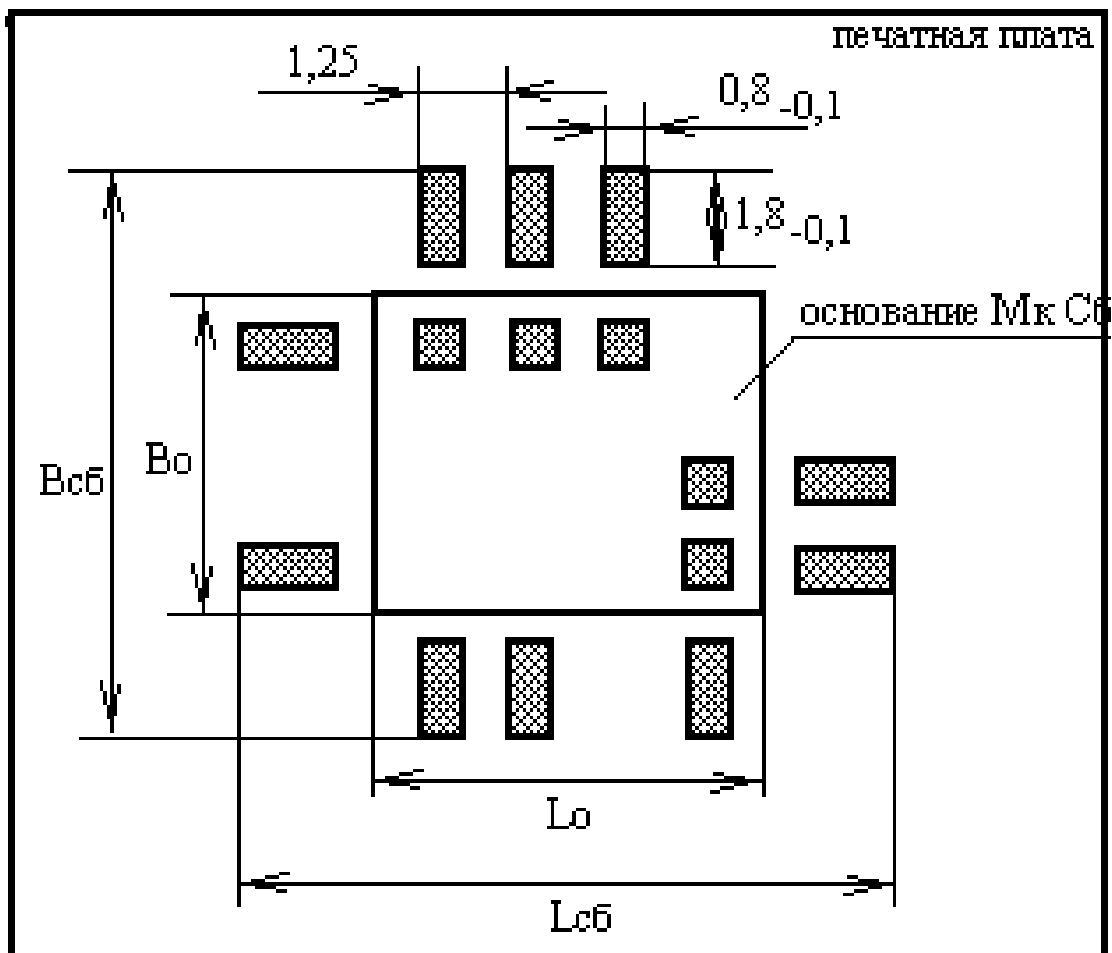
МСБ распаивается проводниками или ленточными соединителями с КП (контрольной площадкой) по периметру МСБ на КП ПП, т. к. на КП выполнить соединение за счет термоварки под увеличения Р надежнее и технологичнее - золотой проводник ЗЛ 999,9 диаметр 30-50 мкм.

Или Си позолоченная полоска 0,3x0,02 мм - сечением.



На КП ПП монтаж пайкой.

Торцевой вывод - компакнее - поверхностно в виде металлической КП по торцу основания монтаж непосредственно пайкой к КП (прямо пропорциональную) ПП .



$B_0$  и  $L_0$  - размеры основания МСБ.





КП МСБ могут размещаться по всему периметру или по двум противоположным сторонам.

Увеличить шаг 1,25 размещения КП

1,25 ± 0,1 - плата не ниже III класса точности

Ширина КП 0,8-0,1

длина 1,8-0,1

Установочный размер МС вместе с выводом на плату.  $L_{сб}$  и  $B_{сб}$  зависят от метода монтажа с планарными выводами  $L_{сб}$  и  $B_{сб}$  на 5 мм больше, чем  $L_0$  и  $B_0$  в конструкциях на бескорпусные МСБ и корпусированные БИС возникает проблема теплоотведения и плотного точного электро монтажа. Т. к. при развитии конструкции от I к VI типам  $U$  уменьшается  $\approx$  в 15 раз, мощность удельная  $P_{уд}$  увеличивается в 15 раз  $\Rightarrow$  имеет место тепловая перенапряженность конструкции  $P_{уд} > 15 \text{ Вт/дм}^2$ .

Проблему теплоотведения возможно решать, предлагая под МСБ или корпусированные БГИС теплоотводные шины или теплоотводящее основание.

Исполняя конструкции по 6 степени интеграции решаем задачу охлаждения, но имеем дорогостоящую конструкцию с навесным Au монтажом ручной работы.

Сейчас предлагают конструкции более экономичные, меньшей стоимости, когда электрический монтаж на основании микросборки и монтаж проводной между микросборки выполняют пленочным монтажом в многослойном основании микросборки, которое имеет повышенную теплопроводность.



## Особенности конструирования на б/к МСБ

Особенности конструкции - увеличение плотности приводит к увеличению теплонапряженности, увеличению разрешающей способности.

Выполняют, применяя теплоотводящую шину или основание под МС и МСБ или даже принудительную вентиляцию.

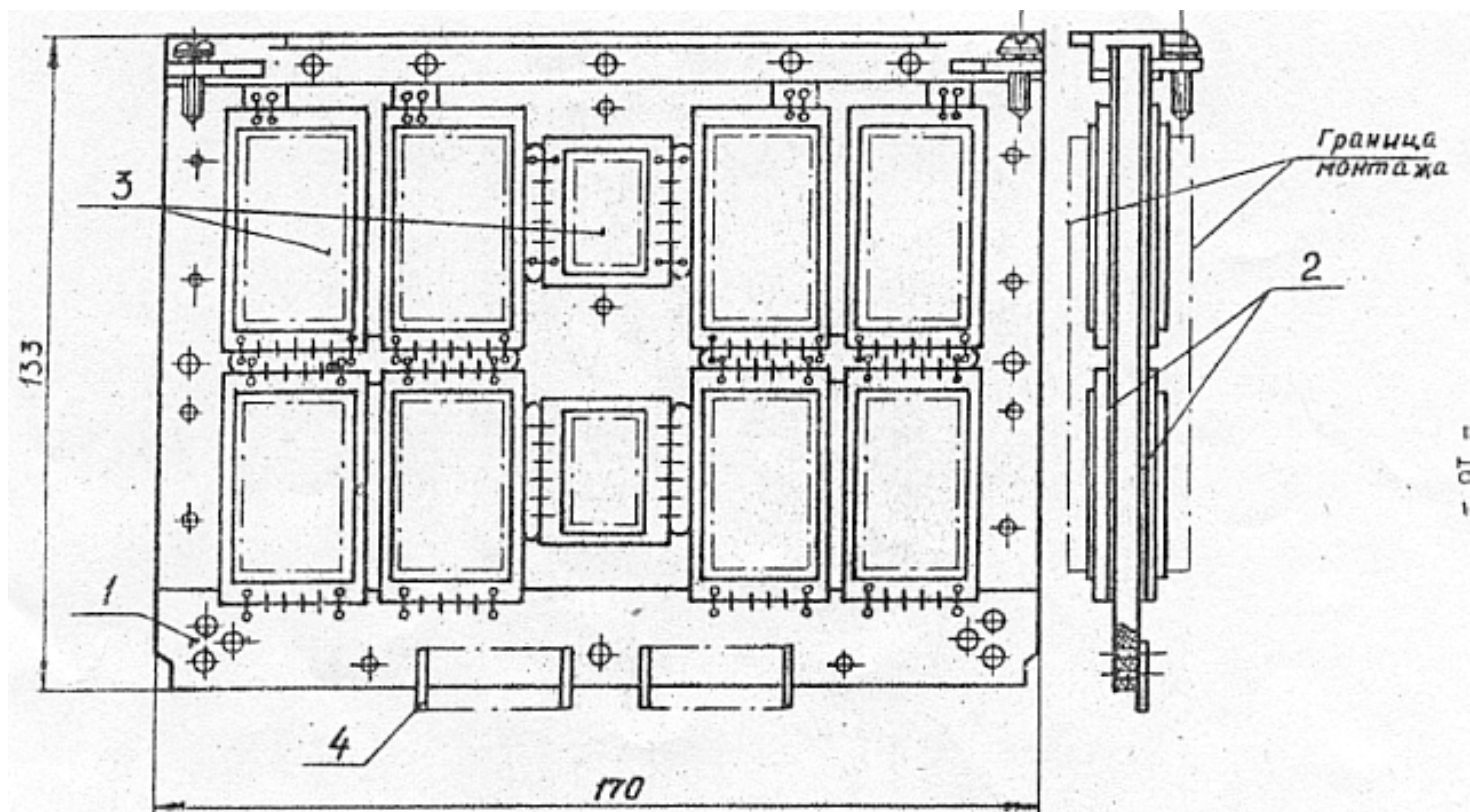


Рис.7. Ячейка герметичного блока разъемной конструкции: 1 - плата печатная; 2 - шина металлическая; 3 - микросборка бескорпусная; 4 - контакт разъема

Теплоотводящие шины или теплоотводящие основания из материала высокой теплопроводимости, чаще всего из Al.



Для того чтобы теплоотводящее основание было несущим и достаточно жестким, его выполняют отбортованным по периметру. При необходимости предлагают ребра жесткости по центру.

Теплоотводящее основание может быть выполнено литьем под давлением, либо штамповкой.

В любом случае толщина теплоотводящего основания должна быть не более 1,8 мм.

Если теплоотводящее основание большой площади, то min получаемая толщина может быть больше, чем 1,8 мм.

Для того, чтобы открыть плату под выводы МС или МСБ в основании теплоотводящей рамки выполняют прорези - окна.

Если теплоотводящее основание толщиной 1,8 мм литьем не получаемо, то предлагают сборную конструкцию - металлолитейная рамка и приваренные (припаянные) теплоотводящие шины.

Электрическим соединителем таких ячеек может быть разъем в разъемных конструкциях либо гибкий печатный кабель (плоский кабель) в книжных конструкциях.

Гибкий печатный кабель для высокой надежности рекомендуется крепить неразъемными паянными соединениями на КП платы и дополненную дополнительным механическим креплением.

Рекомендуется 2 возможных окончания ГПК.

I. ГПК заканчивается монтажом отводящих КП.

II. Контактные лепестки - ГПК может заканчиваться к лепесткам печати проводников.

В I ГПК может распаиваться на штырьковые выводы соединителя.



Затем штырьковые выводы соединителя вместе с КПК запаивают в монтажные отверстия ПП.

Для дополнительного механического крепления соединение может оплавляться в крепежное отверстие на плате.

Во II ГПК распаивается на прямоугольные КП. Плата и крепится с зазором над платой между двумя диэлектрическими планками (планки могут с боков спаиваться?). (Рисунок)

#### Крепление МСБ

Бескорпусные МСБ могут распаиваться на прямоугольные Кп платы золотыми проводниками диаметром 30-50 мкм или позолоченными Си полосками шириной 0,3 - толщиной 0,02 мм.

Под теплоотводящим основанием (шины) устанавливают прокладку диэлектрическую из стеклоткани прокладку СП-1 толщиной 0,1 мм.

Ме-теплоотводящая прокладка и прокладка к плате клеится клеем ВК-9.

МСБ к металлической основе клеится тонким слоем клея и хорошо бы эластичным, обладающим демпфирующими свойствами.

Рекомендуются, например, клей эластосил (для повышения виброизоляции).



## Ремонтопригодность конструкции как общее эксплуатационное требование к РЭА

1. Возможность найти неисправность и лучше бы прогнозировать неисправность.
2. Легкость доступа, т. е. свобода манипуляции оператора при ремонте.
3. Возможность замены вышедшего из строя элемента.

Для поиска неисправностей в конструкции предлагают колодки контроля на ячейках разъема конструкции или же.

На ПП предлагают контрольные точки КТ1, КТ2 и т. д., которые выполняют в виде штырька контроля либо в виде пистона контроля.

На переднюю панель (на блоке или устройстве) могут предлагаться гнезда контроля, колодки контроля. На лицевой панелях приборов и устройств могут устанавливаться приборы контроля или индикаторы, контролирующие режим работы устройства.

На ПП проектируемых устройств, на металлонесущих шасси или каркасов должны быть маркированные знаки элементов согласно их назначению в схеме.

Для того чтобы обеспечить легкость доступа предлагают разъемные, или еще лучше книжные конструкции.

Для того чтобы обеспечивать заменяемость конструкции при ремонте необходимо просчитать и обеспечить допуски по элементам механического крепления, допуски по КП электромонтажа.

Для многовыводных ЭРЭ, а также для полярных определяющих однозначность установки элементов.



## Безопасность эксплуатации

Факторы вредности и опасности для оператора:

А Физические

В Нервно-психические

А:

- повышенный уровень тепловыделения;
- повышенный уровень вибрации, например от работы механизмов управления
- повышается уровень шума;
- электромагнитное излучение, превышающее допустимые нормы;
- опасность поражения электрическим током.

В:

- утомляемость оператора при несогласованности параметров конструкции со свойствами человека-оператора.

Электромагнитные излучения представляют опасность для оператора, если диапазон частот  $f = 60$  кГц до 300 ГГц.

В нижней части опасно при повышенных значениях напряженности электрического и магнитного поля от 60 кГц до 300 МГц

F, частота Гц	от 60 кГц до 3 МГц	от 3 МГц до 30 МГц	от 30 МГц до 50 МГц	от 50 МГц до 300 МГц
Напряженность эл. поля E, В/м	50	20	10	5



Опасность оценивают по допустимой напряженности электрического и магнитного поля, например, для напряженности электрического поля.

Видно, что высокие  $f$ , особенно в СВЧ-диапазоне более опасны при меньших допустимых напряженностях.

В диапазоне 300 МГц – 300 ГГц опасность электромагнитных излучений оценивают плотностью потока, мощность при излучении не должна превышать 0,1.

Бороться – экранирование, смена режима.



## Удобство эксплуатации как общее эксплуатационное требование к РЭС

Всякая РЭА должна быть удобна:

Предпосылки:

1. Простота процесса управления за счет элементов автоматизации.

Простота управления сложных РТС обеспечивает сокращение органов управления, контроля отображаемой информации за счет автоматизации процессов управления.

Например:

АПИ (автоматическое подстраивание частоты);

АРУ (автоматическое регулирование усиления).

Для упрощения процессов управления принимают конструкции с централизованным управлением.

На переднюю панель выносят органы управления, контроля отображаемой информации, с которой часто работает оператор.

Органы управления, которыми не часто пользуется оператор и которые предназначены для подстройки, рекомендуется располагать на задних панелях приборов и устройств.

Органы управления, которыми часто работает оператор, рекомендуется располагать с правой стороны панели. Органы контроля рекомендуются располагать над ручками управления контролируемым параметром.

На передних панелях д. б. выполнены надписи, поясняющие название и крайнее положение элементов управления или контроля.

Например: сеть вкл., выкл.





Надписи выполняют гравировкой и затирают краской контрастной с цветом панели или на отдельных табличках (шильдмах).

На приборах и устройствах эксплуатации в условиях ограниченной освещенности на передних панелях должна быть предусмотрена подцветка надписей и шкал.

Для удобства управления обще приняты следующие положения органов управления ЭРЭ-ми конструкции.

Положению включения или увеличения регулируемого параметра должно соответствовать положение ручек тумблеров.

Вращение ручек по часовой (для повышения) или положение движка вправо.

Нажатие верхних кнопок.

Положению отключено, уменьшению регулируемого параметра должно соответствовать ручки тумблера вниз, ..., нажатие нижних кнопок.

В конструкциях рекомендуется применять стандартные ручки управления ЭРЭ-ни конструкции, которые различны по форме в зависимости от нагрузки управления: от простых цилиндрических ручек к пучкам типа клювик, к ручкам для захвата всеми пальцами оператора (типа барашек) и к ручкам типа ворота.

Нагрузка управления переключателей и ЭРЭ указывается в ТУ элементов и д. б. не меньше усилий перегрузки, которые возникают при ударах и вибрациях проектируемого класса аппаратуры.

Тип ручки и управляемого элемента выбирают также исходя и климатических условий эксплуатации и специальной одежды оператора.



Органы контроля и отображаемой информации должны обеспечить контроль макс возможного количества параметров в min объеме.

Для улучшения органов контроля и отображаемой информации рекомендуются следующие тенденции развития от стрелочных приборов.

На той же площади предлагают нумеровать устройства контролируемых два параметра (например: авиагоризонт).

В настоящее время широко применяют в качестве устройств отображения информации электроннолучевой трубки и мониторы на их основе.

В таких устройствах отображения информации должны использоваться устройства преобразования информации от датчиков к электроннолучевой трубки.

В устройствах, которые содержат высокие напряжения, должны предусматриваются элементы индикации включенного высокого напряжения. Для надежности индикации включенных высоких напряжений предлагается использовать 2 лампочки включенного и выключенного положения. Для сигнализации рекомендуется применять неоновые лампочки даже при пониженном напряжении питания.



## Эргономические требования к РЭС

Экономические предпосылки согласовать конструкции с возможностями человека оператора.

Согласованность предпосылок 2 группы параметров и соответствовать 2 напряжения эргономических требований.

- 1) психофизиологических;
- 2) антропометрические.

Психофизиологические требования предлагают согласованность конструкции по психофизическим параметрам человека:

- острота зрения;
- быстродействие восприятия информации и т. п.

Исходя из психофизических характеристик человека, рекомендуется, чтобы в конструкции была оценка не только абсолютных значений информации, но и качественная оценка.

В стрелочных приборах качественную оценку вносят, раскрашивая шкалу по секторам различной цветности.

Высота оцифровки буквенных знаков на передних панелях должна соответствовать разрешающей способности глаза человека и зависит от расстояния наблюдения.

Угол зрения, определяемый разрешающей способностью глаза в пределах 3-12 мин.

Острота зрения зависит не только от освещенности, но и от времени наблюдения. Рациональным считается время наблюдения 0,5 с.



Скорость считывания информации зависит также от смыслового содержания информации. В случае, если текст «бессмысленны» (зашифрован) приемлемая скорость информации 2-4 бита в секунду, тогда как при «осмысленном» тексте 15-20 бита в секунду.

Для широкого применения знаков и символов имеет место следующая информационная емкость

1. Цифра в двоичной системе – 1 бит.
2. Цифра в десятичной системе – 3,3 бит.
3. Буква алфавита или письменный знак – 5 бит информации.

Антропометрические требования предлагают согласованность конструкции по форме и массе с параметрами человека.

При конструкции пультов управления должно выполнять следующие антропометрические требования.

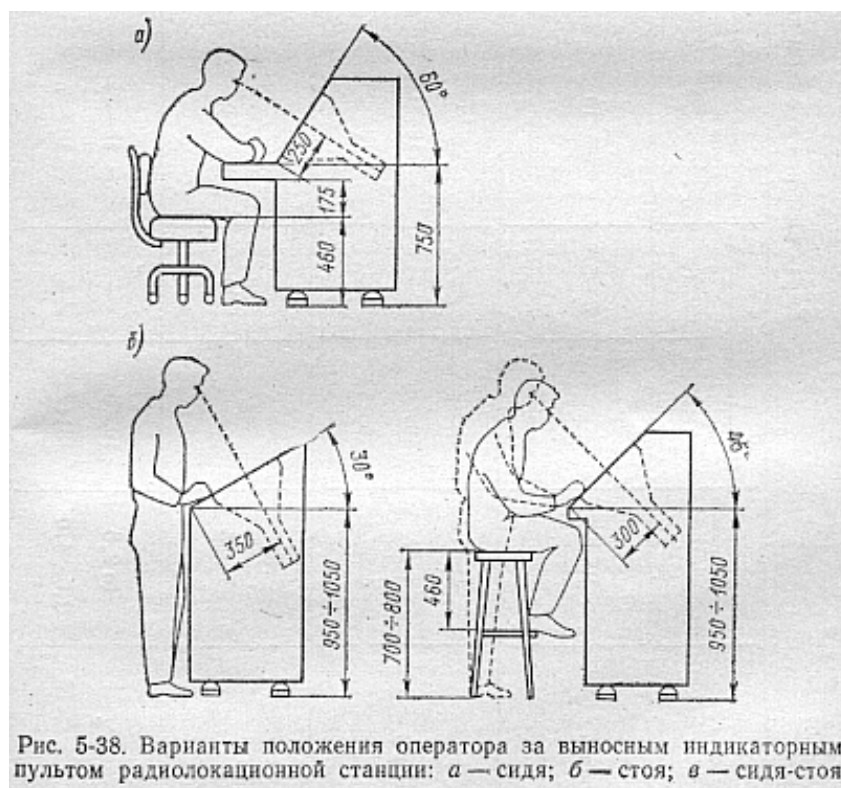


Рис. 5-38. Варианты положения оператора за выносным индикаторным пультом радиолокационной станции: а — сидя; б — стоя; в — сидя-стоя



Для того чтобы руки оператора отдыхали при работе, рекомендуется выполнить пульт управления со столешницей.

Для того чтобы взгляд оператора не падал на переднюю панель пульта в естественной позе, передняя панель располагается под углом 60 градусов. Для того чтобы исключить сканирование головой вверх-вниз, рекомендуется ширина передней панели  $2 \times 250 = 500$  мм.

Для оператора, работающего у пульта управления стоя, рекомендуется следующие параметры формообразования пульта.

Min высота размещения лицевой панели пульта 950-1050 мм.

Направление передней панели – 30 градусов относительно горизонта. Ширина передней панели  $2 \times 350 = 700$  мм.

В условиях ограниченной видимости рекомендуется выполнить подцветку надписей, оцифровок передних панелей с помощью лампочек накаливания и светопровода.

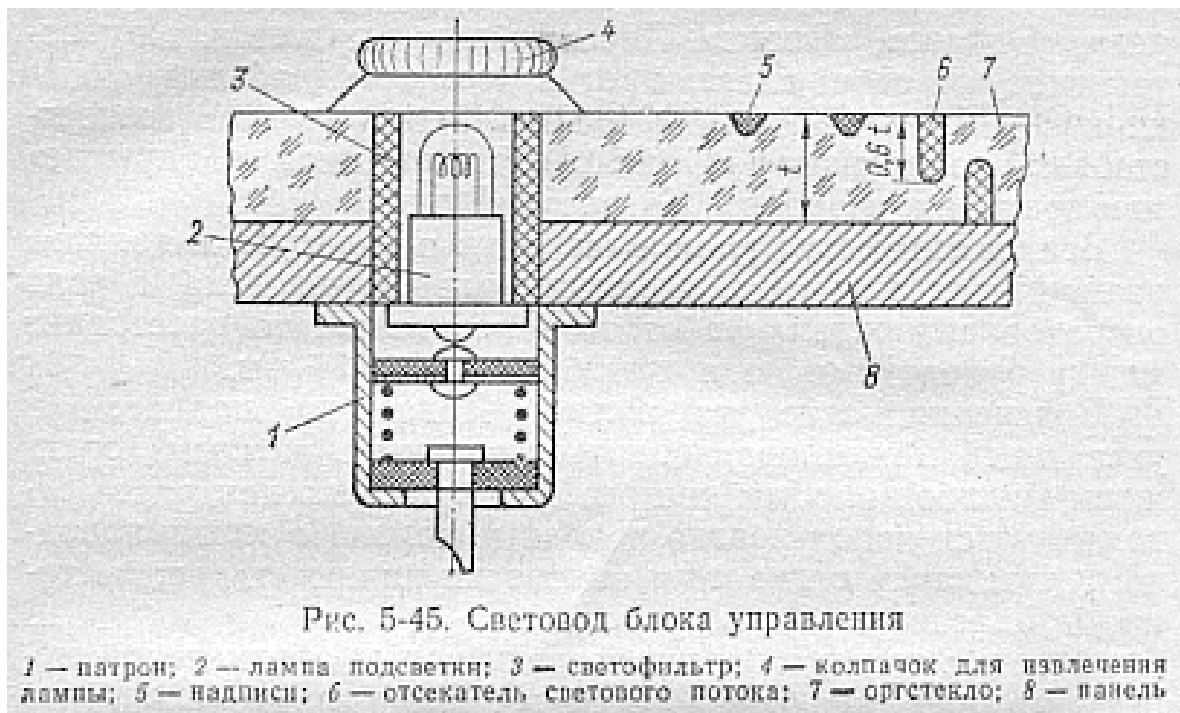


Рис. 5-45. Световод блока управления

1 — патрон; 2 — лампа подсветки; 3 — светофильтр; 4 — колпачок для притяжения лампы; 5 — надписи; 6 — отсекающий светового потока; 7 — оргстекло; 8 — панель



На лицевой части передней панели устанавливается лист светопроводящего материала (например: из оргстекла).

Для того чтобы светопровод проводил свет в нужном направлении вдоль лицевой панели, его наружную плоскость окрашивают или металлизуют в черный цвет.

Надписи, цифры пишутся на наружной плоскости светопровода и затираются светопрозрачной краской.