

## 4. Основы конструирования функциональных узлов и блоков РЭА

### 4.1 Факторы, учитываемые при конструировании.

При конструировании РЭА необходимо учитывать следующие группы факторов (рис.4.1).

**Системотехнические методы реализации** определяют: структуру аппаратуры, ее разбиение на конструктивно законченные части, параметры элементной базы, соотношение наземной и бортовой части, способ представления информации.

**Схемотехнические методы реализации** определяют: диапазон частот, уровни сигналов, помехоустойчивость, требования к стабильности параметров элементов и т.д.

**Технологические возможности производства** определяют экономически целесообразную степень интеграции, надежность и стоимость аппаратуры, массогабаритные характеристики и энергопотребление.

Учет технологических возможностей производства особенно актуален для аппаратуры на МСБ, когда уже на ранних этапах разработки аппаратуры необходимо закладывать ограничения, определяемые производством.

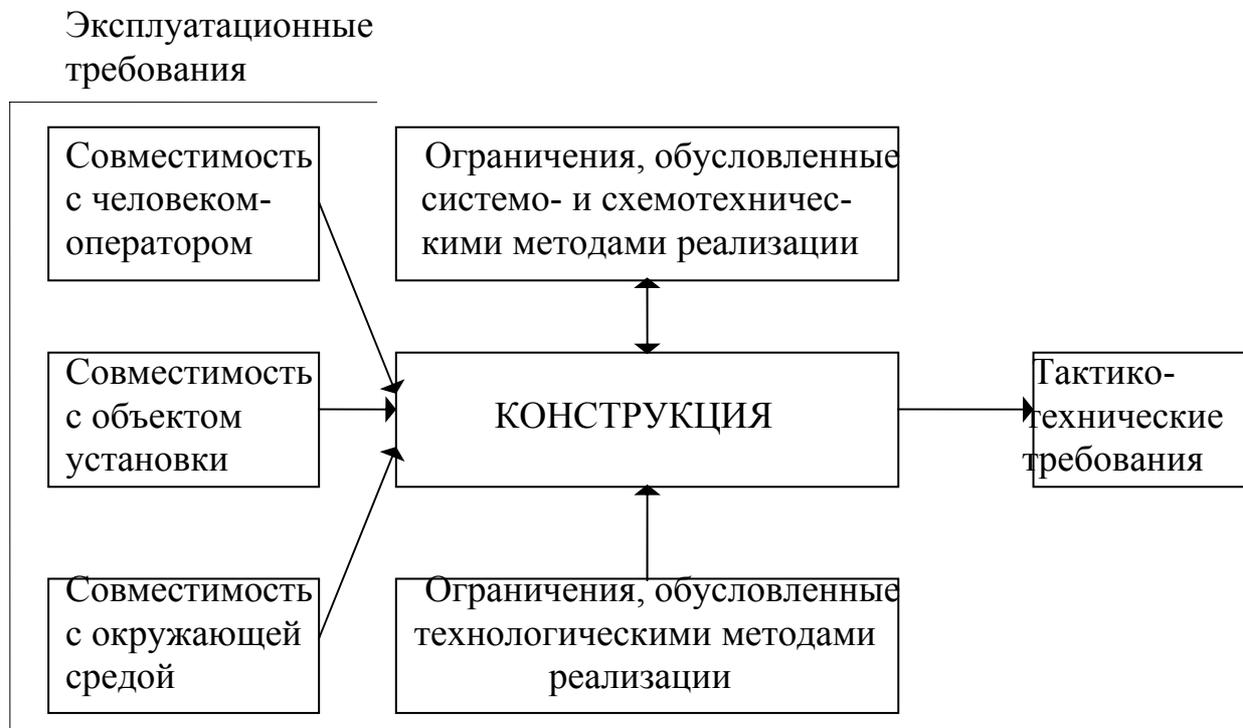


Рис.4.1.

**Совместимость конструкции с человеком-оператором** определяет: внешнее оформление конструкции с учетом эргономики. **Совместимость с объектом установки** определяет: габаритные показатели составных частей конструкции, которые в свою очередь определяются отводимыми для аппаратуры объемами, накладывают требования к вибропрочности конструкции. **Совместимость с окружающей средой** определяет требования защиты аппаратуры от внешних климатических воздействий.

## 4.2 Разработка конструкции РЭА

Исходными данными для разработки конструкции служат техническое задание и схема электрическая принципиальная. Следовательно, конструктор, приступая к разработке, располагает данными о требованиях к конструкции блока и об элементной базе.

Процедуру разработки конструкции блока можно представить решением цепочки следующих связанных между собой задач:

- выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока;
- разукрупнение схемы электрической принципиальной;
- разработка конструкции функциональной ячейки;
- разработка конструкции печатной платы;
- проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока.

Рассмотрим более подробно содержание и порядок решения перечисленных выше задач.

### 4.3 Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока

Выбор типа конструкции и компоновочного решения блока обуславливается объектом установки РЭА, видом и интенсивностью воздействия внешних дестабилизирующих факторов. В свою очередь, тип конструкции в значительной степени определяет свойства внутренней структуры блоков РЭА. Находят применение три основных типа конструкций: разъемная и книжная.

Отличительной особенностью **разъемных конструкций** блоков является использование для организации внутриблочных электрических соединений электрических соединителей "вилка-розетка" и кросс-платы, на которой размещаются розетки соединителей (рис.4.2). Конструкция обеспечивает высокую ремонтпригодность: неисправная функциональная ячейка легко вынимается из блока и заменяется на исправную. Однако наличие электрических соединителей снижает надежность (интенсив-

ность отказов электрических контактов относительно высока) и ухудшает массогабаритные показатели блоков. Конструкция находит применение в бытовой, вычислительной, авиационной и контрольно-измерительной аппаратуре.

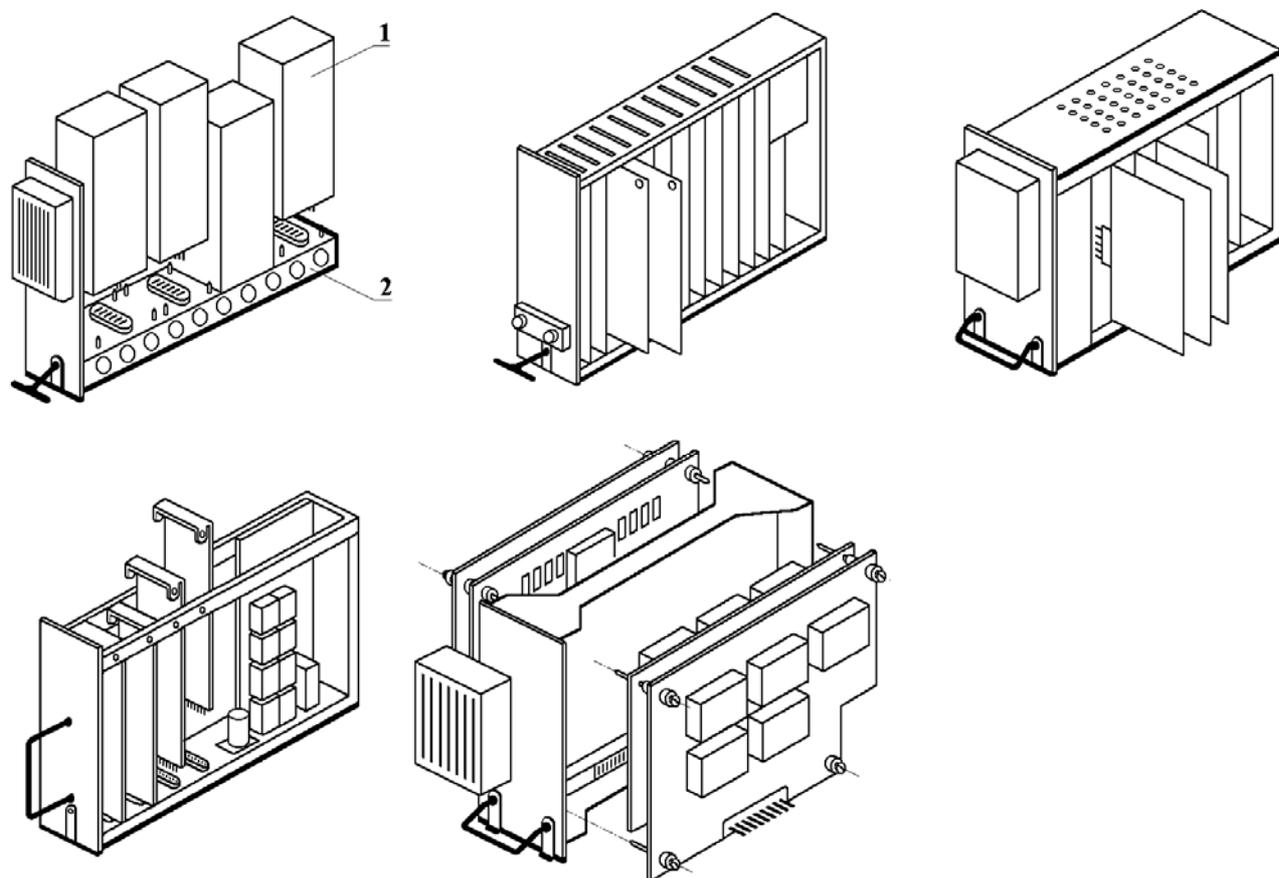


Рис. 4.2

В книжной конструкции блоков функциональные ячейки с помощью шарнирных соединений объединяются в пакет, раскрывающийся в виде книги (рис. 4.3). Различают конструкции блоков с вертикальной и горизонтальной осями раскрытия. В блоках, выполненных на корпусных интегральных микросхемах, несущим элементом конструкции служит каркас, на продольных центральных связях которого закрепляется кросс-плата.

Внешние выводы функциональных ячеек соединяются с контактными площадками кросс-платы с помощью гибких плоских проводов (гибкий плоский кабель, гибкий печатный кабель), что позволяет уменьшить массу и габариты блоков и повысить их надежность. Однако это преимущество достигается за счет снижения ремонтпригодности, особенно на объекте установки, когда оперативное восстановление работоспособности нередко осуществляется путем замены блока.

Книжные конструкции блоков на бескорпусных микросборках выполняются герметичными в металлических коробчатых корпусах. Функциональные ячейки (одно- и двухсторонняя) часто объединяются в пакет с помощью гибкой матрицы-ремня, которая наряду с функцией электрического соединения ячеек берет на себя функции корешка книги. Герметизация блоков осуществляется, как правило, методом паяного шва.

Конструкции книжного типа находят применение в аппаратуре, размещаемой на ракетах, космических объектах и в изделиях, требующих предельной минимизации массогабаритных характеристик изделия.

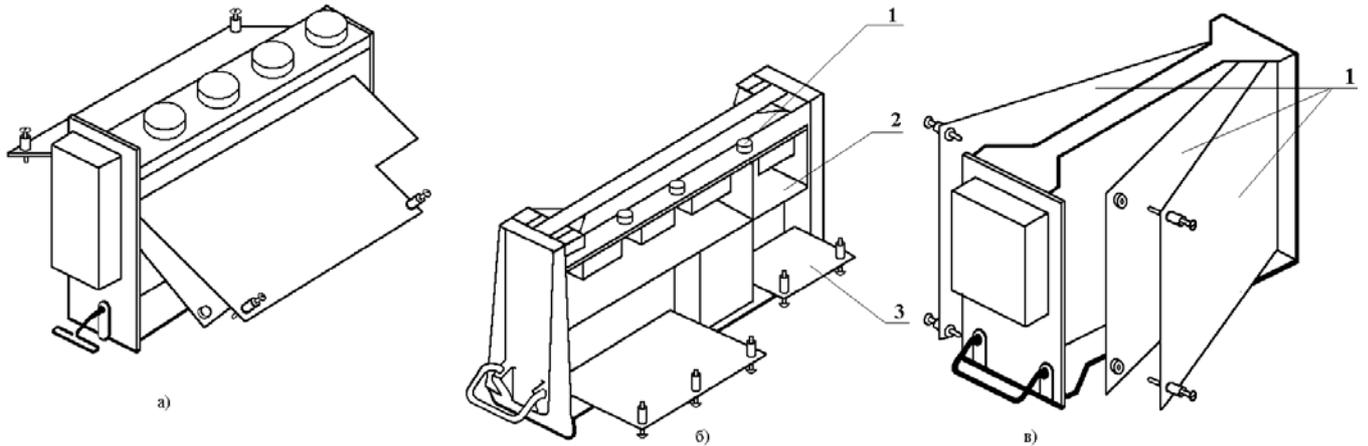


Рис.4.3

Выбор компоновочной схемы производится по результатам анализа шести возможных вариантов организации внутренней структуры блока.

Полезный объем блока (рис.4.4) можно условно представить в виде четырех объемов:  $V_1$  (пакет ФЯ),  $V_2$  (электрические соединители и межъячеечный монтаж),  $h_{32}$  - глубина зоны межъячеечного монтажа, определяемая типом электрического соединителя;  $V_3$  (элементы лицевой панели и монтаж установочных элементов),  $h_{33}$  - глубина зоны лицевой панели, определяемая типом компонентов, устанавливаемых на лицевой панели, способом электрического монтажа компонентов с ФЯ;  $V_4$  (элементы задней панели, внешние электрические соединители и монтаж);  $h_{34}$  - глубина зоны задней панели, определяется типами межблочного электрического соединителя и элементов, устанавливаемых на задней панели. Объем блока:

$$V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4.$$

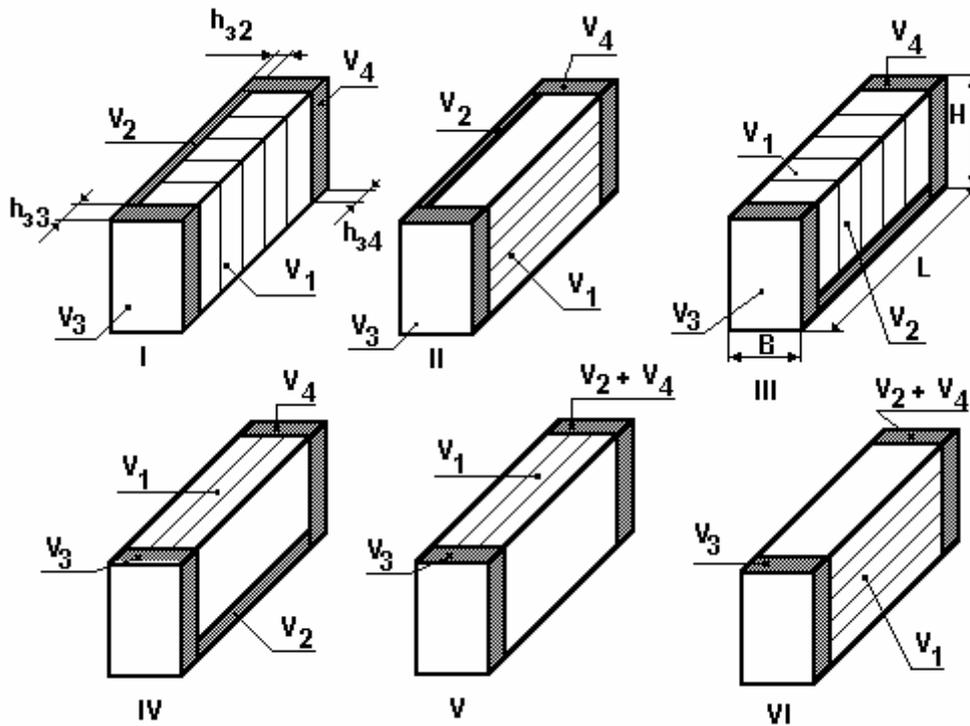


Рис.4.4

Качество конструкции в большей степени будет зависеть от соотношения объемов  $V_1$  и  $V_2$ . Объем  $V_1$  определяется объемом ФЯ, их количеством и шагом установки ФЯ в блоке. Для вариантов, представленных на рис. 3.4:

$$V_1^{V,VI} > V_1^{III,IV} > V_1^{I,II}$$

$$V_1^{I,II} > V_1^{III,IV} > V_1^{V,VI}$$

Варианты II и VI не обеспечивают необходимые условия для эффективного отвода тепла как при естественном, так и принудительном воздушном охлаждении блока. Для книжных конструкций при естественном воздушном охлаждении предпочтительнее варианты IV и V, обеспечивающие небольшое количество плат. При этом в варианте V за счет установки электрического соединителя на короткой стороне ФЯ возможны трудности при трассировке печатной платы и увеличение паразитных связей печатного монтажа. Вариант IV может использоваться в случае принудительного воздушного охлаждения при установке вентилятора на заднюю или лицевую панель. Вариант V предпочтительнее при набегающем воздушном потоке снизу.

Для разъемной конструкции целесообразно использовать при естественном воздушном охлаждении вариант компоновки III, а при необходимости использования принудительного охлаждения – вариант I.

#### 4.4. Разработка конструкции функциональной ячейки

Конструкция функциональной ячейки (ФЯ) должна соответствовать выбранному типу конструкции блока. В этой связи различают конструкции ФЯ блоков разъемного, кассетного и книжного типов, имеющие характерные отличительные признаки.

Классификация возможных конструкций ФЯ представлена на рис.4.5

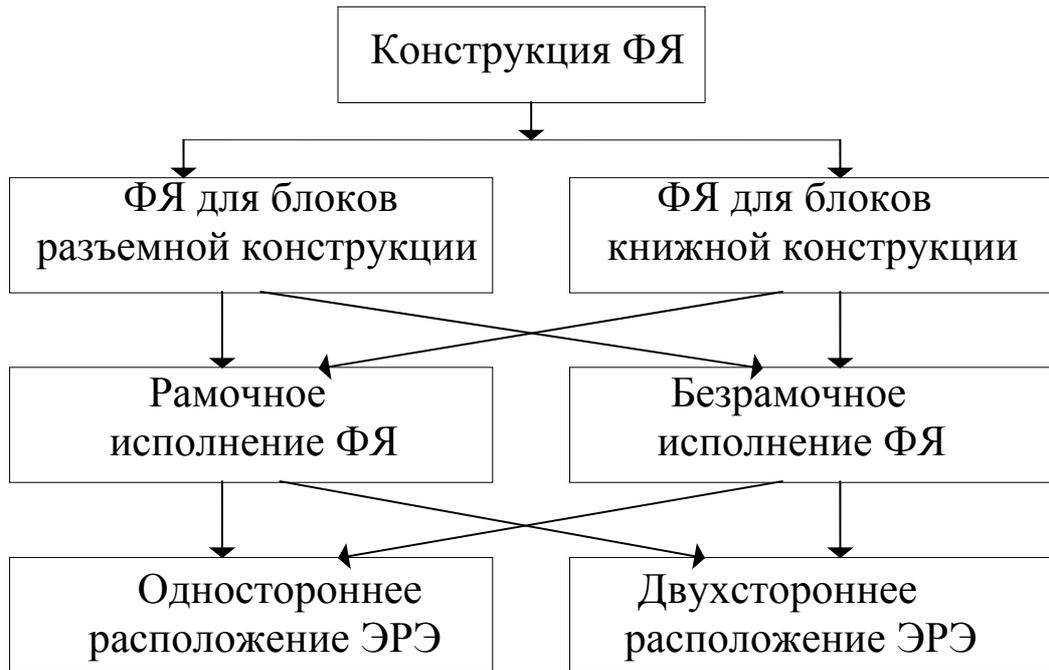


Рис. 4.5

В зависимости от уровня механических воздействий на аппаратуру функциональные ячейки могут быть в рамочном или безрамочном исполнении.

Несущим элементом конструкции ФЯ на корпусных микросхемах служит печатная плата, конструкций ФЯ на бескорпусных МСБ - металлическая рамка.

Особенности элементной базы (например, тип корпуса ИС) позволяют применить в конструкции ФЯ одностороннее или двухстороннее расположение элементов.

Разработка конструкции ФЯ на корпусных ИС состоит в определении площади и геометрических размеров печатной платы, проверке возможности размещения радиоэлементов на плате, разработке конструкции печатной платы и определении геометрических размеров ячейки.

#### 4.4.1. Расчет площади и выбор типоразмера печатной платы

Площадь печатной платы, необходимую для одностороннего размещения радиоэлементов, находят по формуле:

$$S_{\text{пл}} = q_s \sum_{i=1}^n S_{\text{эл}i},$$

где  $i=1$  где  $q_s$  - коэффициент дезинтеграции площади,  $S_{\text{эл}i}$  - установочная площадь  $i$ -го радиоэлемента,  $n$  - число радиоэлементов.

Коэффициент дезинтеграции площади  $q_s$  обычно полагают равным 2...2,5.

Установочные площади  $S_{\text{эл}i}$  определяют по справочным данным на радиоэлементы. Количество радиоэлементов  $n$  определено результатами разукрупнения электрической принципиальной схемы РЭА.

Согласно ОСТ 4 ГО.010.009 выбор печатных плат ограничивается следующими типоразмерами: 135x110, 135x240, 140x130, 140x150, 150x200, 170x75, 170x110, 170x120, 170x130, 170x150, 170x160, 170x200 мм. Для межвидовой унификации ФЯ различных видов аппаратуры широко используют типоразмеры печатных плат, представленные в ОСТ 4 ГО.410.224: 170x75, 170x110, 170x150, 170x200, 170x280, 170x360 мм. Вдоль базовой стороны платы (170 мм) устанавливается розетка соединителя СНПЗ4. При использовании платы типоразмера 360x170 мм на большей стороне (360 мм) устанавливается две розетки соединителя СНПЗ4.

Выбор типоразмера платы определяется условием:

$$L_x L_y \geq S_{\text{пл}},$$

где  $L_x, L_y$  - линейные размеры платы.

#### 4.4.2. Оценка возможности размещения микросхем на плате ФЯ

На плате цифровой ФЯ корпуса микросхем размещаются в правильном порядке по строкам и столбцам (рис.4.6). При выбранных размерах платы  $L_x$  и  $L_y$  число микросхем в строке  $n_x$  и столбце  $n_y$  для односторонней установки могут быть найдены по формулам:

$$n_x = E \left[ \frac{L_x - l_x - x_1 - x_2}{t_x} \right] + 1,$$

$$n_y = E \left[ \frac{L_y - l_y - y_1 - y_2}{t_y} \right] + 1,$$

где  $E$  - оператор выбора целочисленного решения;  $l_x, l_y$  - размеры корпуса ИС;  $t_x, t_y$  - шаги установки ИС в строке (ось  $x$ ) и столбце (ось  $y$ );  $x_1, x_2, y_1, y_2$  - краевые поля.

Ширина краевых полей  $x_1$  и  $x_2$  выбирается из условия:

$$x_1 = x_2 = (3 \dots 5) \delta_{\text{пл}},$$

где  $\delta_{\text{пл}}$  - толщина печатной платы.

Краевое поле  $y_1$  предназначено для размещения вилки (розетки) электрического соединителя или контактных площадок для пайки проводников внутриблочных электрических соединений. В поле  $y_2$  могут устанавливаться передняя панель ячейки, контрольная колодка, металлический угольник и др. Поэтому ширина полей  $y_1$  и  $y_2$  определяется геометрическими размерами перечисленных элементов.

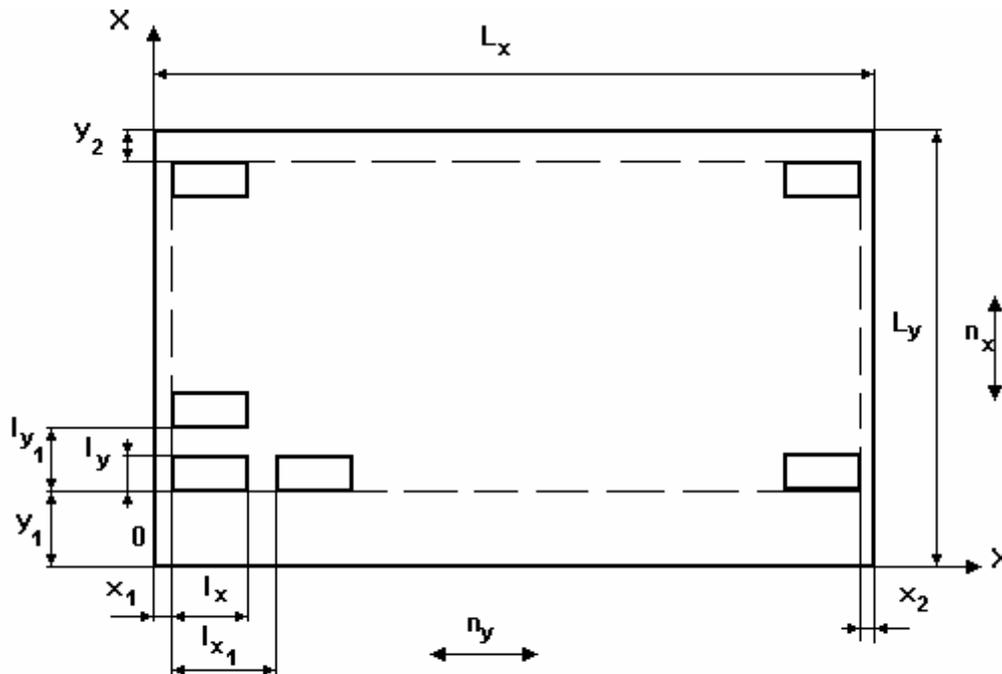


Рис.4.6

Справочные данные, необходимые для расчета  $n_x$  и  $n_y$  приведены в табл. 4.1, 4.2, 4.3.

Таблица 4.1.

Корпус по ГОСТ 17467-79	Габариты корпуса, мм	Размер монтажной площадки,	Среднее число задействован-	Шаг установки ИС по осям, мм
----------------------------	----------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------

		ММ	НЫХ ВЫВОДОВ	$t_x$	$t_y$
1203.14-5			8	22,5	15,0
			9	22,5	17,5
			11	25,0	17,5
			12	25,0	20,0
			14	27,5	22,0
1206.14-5	19,5 × 22 × 5,0	14,0 × 13,7	8	22,5	25,0
			10	25,0	25,0
			12	27,5	25,0
			14	29,0	25,0
1207.14-5	19,5 × 29,5 × 5,0	4,0 × 21,2	8	22,5	32,5
			10	25,0	35,0
			12	27,5	37,5
			14	29,0	39,0
1211.28-5 157.29-1	39,0 × 29,0 × 5,0	34,0 × 20,0	13	42,5	32,5
			20	47,5	32,5
			22	50,0	32,5
			24	52,5	32,5
			26	55,0	32,5
			28	57,5	32,5
2102.14-2(3,5) 201.14-8(9,10)	19,2 × 7,5 × 5,0	4,2 × 3,2	8	22,5	12,5
			9	22,5	15,0
			11	25,0	15,0
			12	25,0	17,5
			14	27,5	17,5
201.16-5(6) 201.16-8 201.16-13(5) 201.16-17	19,5 × 7,5 × 5,5	4,2 × 3,2	8	22,5	12,5
			9	22,5	15,0
	19,2 × 7,5 × 5,5	5,0 × 3,0	11	25,0	15,0
			12	25,0	17,5
			14	27,5	17,5
			16	27,5	20,0
201A.16-1	19,2 × 10,0 × 4,7	6,0 × 5,0	8	22,5	15,0
			10	25,0	15,0
			12	27,5	17,5
			14	29,0	17,5
2207.48-5 244.48-1	31,0 × 25,0 × 3,8	d=8,0	30	50,0	40,0
			32	52,5	40,0
			34	55,0	40,0
			36	57,5	40,0
			38	60,0	40,0
			40	62,5	40,0
			42	65,0	42,5
			44	67,5	45,0
46	70,0	47,5			
2130.24-5			18	45,0	22,5
			20	47,5	22,5
			22	47,5	25,0
			24	50,0	25,0
3101.8-5	d=9,5 ;h=4	d=3,0	8	12,5	12,5

301.8-2	d=9,5 ;h=4,8	d=3,0	8	12,5	12,5
302.8-1	d=9,5 ;h=5,5	d=3,0	8	12,5	12,5
301.12-1	d=9,5 ;h=4,8	d=3,0	10	15,0	17,5
3101.12-5	d=9,5 ;h=4,8	d=3,0	12	17,5	17,5
311.8-1(2)	39,0 × 25,0 × 7,0	d=8	8		
311.10-1	39,0 × 25,0 × 7,0	d=8	10		
401.14-3(4)	10,0 × 6,5 × 2,3	4,9 × 2,0	10	12,5	15,0
401.14-5	10,0 × 6,7 × 2,2		11	12,5	17,5
			12	15,0	17,5
			14	15,0	20,0
402.16-21,23,25, 32	12,0 × 9,4 × 2,7	5,1 × 3,1	14	12,5	20,0
402.16-33		4,1 × 3,1	16	17,5	20,0
406.16,5					
402.16-18	12,8 × 9,4 × 2,8	5,5 × 4,5	14	15,0	20,0
4112.16-1(2,3)	12,8 × 9,4 × 2,8	5,5 × 4,5	16	20,0	20,0
4131.24-1(2)	19,7 × 16,8 × 3,1	10,7 × 8,4	18		
4131.24-3		7,5 × 7,4	20		
			22		
			24		
4119.28-1(2)	18,3 × 12,8 × 3,0	5,0 × 3,0	13		
			20		
			22		
			24		
			26		
			28		
4122.40-1(2)	25,8 × 12,8 × 3,0	6,0 × 5,0	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
429.42-1(3)	26,6 × 16,7 × 2,9	6,2 × 6,2	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
			42		

Таблица 4.2

Тип корпуса	Размер краевого поля	
	Толщина ПП до 1 мм	Толщина ПП до 2 мм
1203.14-5	5,0	5,0
1206.14-5, 1207.14-5	7,5	7,5
1211.28-5, 2101.14-5, 2130.24-5	2,5	5,0
2207.48-5	5,0	5,0
3101.8-5	2,5	2,5
3103.12-5, 4105.14-5	2,5 *	5,0 *

4106.14-5	5,0	5,0
4106.16-2	2,0	5,0
4138.42	2,5	5,0

\* - Значения ориентировочные

Таблица 4.3

Тип электрического соединителя и число контактов, тип кабеля	Корпус микросхемы или микросборки				
	1203.14-5	1211.28-5	Тип 2	Тип 3	Тип 4
	1206.14-5				
	1207.14-5				
Краевое поле $Y_1$					
ГРППЗ (14, 36, 46, 58)	17,5	20,0	17,5	15,0	17,5
ГРППЗ (24)	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
ГРПМ1-ШУ(31,45,61,90)	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
ГРПМ1-ШУ (122)	27,5	30,0	27,5	25,0	25,0
ГРПМ1-ГУ	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГРПМ9-У	20,0	22,5	20,0	17,5	20,0
ГРПМ9-Н	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРППМ5	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРППМ7 (8)	30,0	32,5	30,0	27,5	30,0
ГРППМ10	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
СНПЗ4 (135)	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
ГПК с металлическими отверстиями	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГПК с контактными площадками	25,0	27,5	25,0	25,0	25,0
ГПК с контактными лепестками, кабель тканый и опрессованный	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
Жгут объемный	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0
Краевое поле $Y_2$					
Контактная колодка с запайкой штырей в металлизированные отверстия	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Колодка с использованием печатных контактных площадок	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Одиночные пистоны и контакты	10,0	12,5	10,0	10,0	10,0

Типоразмер платы выбран верно, если выполняется условие  $n_x n_y \geq n$ . В случае невыполнения неравенства выбирается плата с большими размерами.

В конструкциях ФЯ аналоговых и аналого-цифровых РЭА на платах наряду с ИС устанавливается значительное количество дискретных ЭРЭ: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и др. Поэтому принцип

регулярности структуры конструкции становится нереализуемым, в связи с чем возможность размещения радиоэлементов на плате обосновывается выбором необходимой площади платы в соответствии с формулой:

$$S_{\text{пл}} = q_s \sum_{i=1}^n S_{\text{эли}}.$$

#### 4.5. Виды печатных плат и методы их изготовления.

В качестве оснований для печатных плат используются диэлектрик или покрытый металлом диэлектрик. Для выполнения печатных проводников диэлектрик покрыт медной фольгой толщиной 30...50 мкм, либо медной или никелевой фольгой толщиной 5...10 мкм.

В зависимости от числа нанесенных проводящих слоев печатные платы разделяются на одно-, двухсторонние и многослойные.

Односторонние печатные платы выполняются без металлизации (рис. 4.7) или с металлизацией монтажных отверстий. Платы просты по конструкции и экономичны в изготовлении. Их применяют для монтажа бытовой радиоаппаратуры, блоков питания и устройств техники связи.

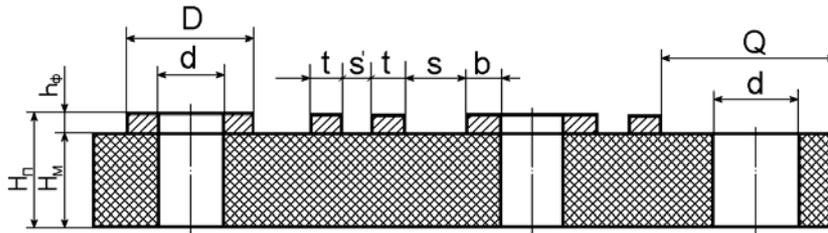


Рис. 4.7

Двухсторонние печатные платы имеют проводящий рисунок на обеих сторонах диэлектрического (рис. 4.8) или металлического основания. Электрическая связь слоев печатного монтажа осуществляется с помощью металлизации отверстий.

Двухсторонние печатные платы обладают повышенной плотностью монтажа и надежностью соединений. Они используются в измерительной технике, системах управления и автоматического регулирования. Расположение элементов печатного монтажа на металлическом основании позволяет решить проблему теплоотвода в высокопроизводительной и радиопередающей аппаратуре.

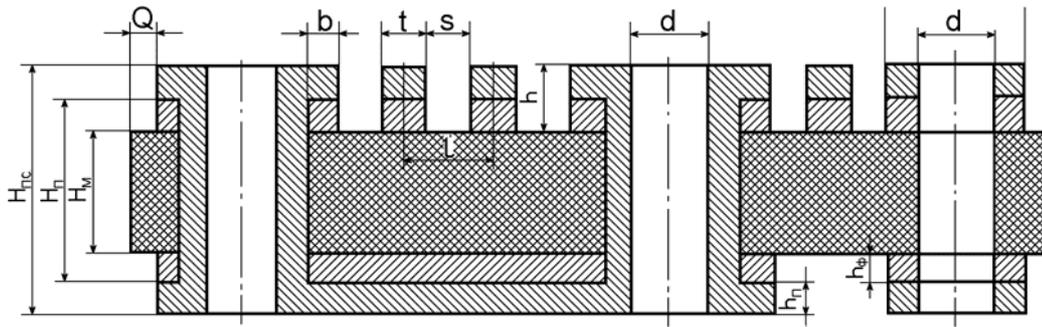


Рис.4.8.

Многослойные печатные платы состоят из чередующихся слоев изоляционного материала и проводящего рисунка, соединенных клеевыми прокладками в монолитную структуру путем прессования (рис.4.9).

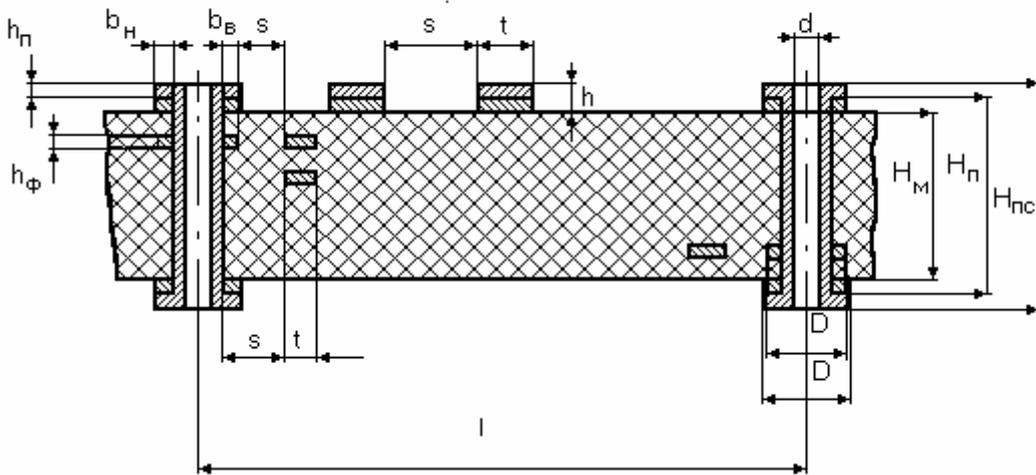


Рис.4.9.

Электрическая связь между проводящими слоями выполняется химико-гальванической металлизацией. По сравнению с одно- и двухсторонними печатными платами они характеризуются повышенной плотностью монтажа, устойчивостью к климатическим и механическим воздействиям, уменьшением размеров и числа контактов. Однако большая трудоемкость изготовления, высокая точность рисунка и совмещения отдельных слоев, необходимость тщательного контроля на всех операциях, низкая ремонтпригодность, сложность и высокая стоимость технологического оборудования позволяет применять многослойные печатные платы для тщательно отработанных конструкций электронно-вычислительной и авиационно-космической аппаратуры.

Гибкие печатные платы конструктивно идентичны одно- и двухсторонним печатным платам, но выполняются на эластичном основании толщиной 0,1...0,5 мм. Они применяются в тех случаях, когда плата после изготовления подвергается многократным изгибам или ей после установки ЭРЭ необходимо придать компактную изогнутую форму.

Гибкие печатные кабели являются разновидностью гибких печатных плат и состоят из одного или нескольких диэлектрических слоев с размещенными на них печатными проводниками. Толщина гибких печатных кабелей колеблется от 0,06 до 0,3 мм. Они широко применяются для межсоединений узлов и блоков РЭА, так как занимают меньшие объемы и легче круглых жгутов и кабелей, а их производство может осуществляться непрерывно и на рулонном материале.

#### 4.6. Параметры конструкций печатных плат.

Конструкции печатных плат характеризуются группой параметров: структурных, геометрических и электрических.

К структурным параметрам относятся общее число слоев и их конструкция.

К геометрическим параметрам относятся ширина печатных проводников на сигнальных слоях и зазоров между проводниками, диаметры металлизированного отверстия и зенковки, ширина зазора между металлизированными отверстиями и между отверстиями и проводниками, расстояние между сигнальными и потенциальными слоями, в частности между слоями питания и земли, шаг сетки и ширина проводников, толщина печатной платы и ее отклонение от номинала.

К электрическим параметрам относятся погонное сопротивление и погонная емкость (или волновое сопротивление) печатных проводников на сигнальных слоях, коэффициент связи между печатными проводниками, определяемый уровнем взаимных помех.

Все параметры конструкции печатных плат взаимосвязаны. Электрические параметры определяют требования к трассировке, геометрическим параметрам сигнальных проводников и расположению сигнальных и потенциальных слоев относительно друг друга. При отсутствии требований к электрическим параметрам печатных плат, что характерно для низкочастотных устройств РЭА, число слоев и их расположение полностью зависят от технологического процесса изготовления печатных плат. При выборе структуры печатных плат устройств среднего и высокого быстродействия наиболее важным является обеспечение электрических параметров. Как правило, в этом случае используют многослойные печатные платы.

#### 4.7. Разработка конструкции печатной платы

Требования к печатной плате формируются в результате анализа технического задания на изделие и электрической принципиальной схемы. Разработка конструкции платы производится на основе этих требований и предполагает решение следующих задач: выбор и обоснование класса точности платы; выбор габаритных размеров и конфигурации платы; выбор материала основания печатной платы; размещение навесных элементов и трассировка проводников; выполнение расчетов элементов печатной платы, разработка конструкторской документации.

При выборе типа печатной платы наряду с требованиями технического задания на изделие следует учитывать технико-экономические показатели. Так, например, для плотности отверстий  $1,5 \text{ отв/см}^2$  трудоемкость в нормочасах изготовления односторонней печатной платы в крупносерийном производстве составляет  $0,25 \text{ нч/дм}^2$ , двухсторонней -  $1 \text{ нч/дм}^2$ , многослойной -  $2 \text{ нч/дм}^2$ .

Класс точности печатной платы определяется номинальными значениями и точностью выполнения элементов печатной платы (проводящего рисунка). Современная технология позволяет получать платы четырех классов точности. Номинальные значения размеров основных элементов проводящего рисунка платы (рис.3..) для узкого места приведены в табл.4.4.

Таблица 4.4.

Конструктивные параметры элемента печатной платы и номинальный размер для класса точности	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
Минимальная ширина проводников $t$ , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Минимальное расстояние между проводниками $s$ , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Гарантированная ширина пояска в наружном слое $b_H$ , мм	0,3	0,2	0,1	0,05
Гарантированная ширина пояска во внутреннем слое $b_B$ , мм	0,15	0,10	0,05	0,03
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы $j$	0,5	0,5	0,33	0,33

Печатные платы 1-го и 2-го классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. Печатные платы 3-го и 4-го классов точности требуют использования высококачественных материалов, более сложного оборудования и иногда особых условий производства. Трудоемкость изготовления односторонней печатной платы 4-го класса точности примерно на порядок выше трудоемкости изготовления платы 1-го класса точности.

Габаритные размеры печатных плат должны соответствовать ГОСТ 10317-79 при максимальном соотношении сторон 5:1.

Предпочтительны платы прямоугольной формы. Конфигурацию плат, отличную от прямоугольной, следует применять лишь в технически обоснованных случаях.

Толщина печатной платы определяется толщиной исходного материала и выбирается в зависимости от использованной элементной базы и внешних механических воздействий. Для односторонних и двухсторонних печатных плат рекомендуется использовать материалы толщиной 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм.

Выбор материала печатной платы производится в соответствии с ГОСТ 10316-78 и ГОСТ 23751-79. Наибольшее применение при изготовлении печатных плат находят фольгированный стеклотекстолит. Список рекомендуемых материалов печатных плат приведен в табл.4.5.

Таблица 4.5.

Марка материала	$\delta$ *	Толщина материала с фольгой ,мм	E *	T, °C	Область применения
СФ-1-35 СФ-2-35	35	0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300	-60...+120	Одно- и двухсторонние платы с гальваническим соединением слоев
СФ-1-50 СФ-2-50	50	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300	-60...+120	То же
СФПН-1-50 СФПН-2-50	50	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	450	-60...+120	Одно- и двухсторонние платы с повышенной нагревостойкостью
СТФ-1	35	0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,5; 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5	400 450	-60...+120	Одно- , двухсторонние МПП и гибкие ПП с повышенной нагрево- и влагостойкостью
СТФ-2	35	0,8; 1; 1,5; 2; 3	450	-60...+120	То же
ФТС-1 ФТС-2	20 35 20 35	0,08; 0,15 0,1; 0,12; 0,19 0,18; 0,27; 0,5 0,14; 0,23; 0,5	300 360 300 360	-60...+120	Гибкие и многослойные ПП

\* d - толщина фольги, мкм; E - прочность сцепления, г с

Размещение радиоэлементов на плате производится в соответствии с ОСТ 4.ГО.010.009 и должно быть согласовано с требованиями к конструкциям ФЯ и блока. Вариант установки радиоэлементов на плату определяется условиями эксплуатации, другими техническими требованиями к ФЯ, изделию в целом и выбирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в ОСТ 4.ГО.010.030.

Критериями рационального размещения элементов на плате могут служить: минимальная длина связей между радиоэлементами; минимальное число переходов печатных проводников между слоями; равномерное распределение массы радиоэлементов на поверхности платы.

Задача размещения радиоэлементов и трассировки проводников печатной платы, как правило, решаются на ЭВМ с помощью САПР.

Расчеты элементов печатной платы делятся на конструкторско-технологические и электрические.

В результате выполнения конструкторско-технологических расчетов определяют геометрические размеры элементов проводящего рисунка и их взаимного расположения с учетом производственных погрешностей. Расчету подлежат диаметры монтажных и переходных отверстий, значения ширины проводника и расстояния между проводниками, диаметр контактной площадки.

Минимальный диаметр переходного отверстия  $d_{по}$ :

$$d_{по} \geq k_{дт} h_{пл} ,$$

где  $k_{дт}$  - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы;  $h_{пл}$  - толщина печатной платы. Минимальный диаметр монтажного отверстия  $d_{мо}$ :

$$d_{мо} \geq d_{в} + D + 2h_{г} + \delta_{д} ,$$

где  $d_{в}$  - диаметр вывода радиоэлемента,  $D=0,4...0,6$  мм - зазор между поверхностью вывода и поверхностью отверстия,  $h_{г}=0,05...0,06$  мм - толщина гальванически осаждаемой меди,  $\delta_{д}=0,12$  мм - погрешность диаметра отверстия.

Предпочтительные диаметры переходных отверстий  $d_{по}=0,7; 0,9; 1,1$  мм; монтажных отверстий  $d_{мо}=0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5$  мм.

Минимальный диаметр контактной площадки  $d_{кп}$ :

$$d_{кп} = 2[b_{н} + (d_{мо}/2) + \delta_{о} + \delta_{кп}] + \delta_{фф} + 1,5h_{ф} ,$$

$\delta_{о}=0,07$  мм - погрешность расположения отверстия;  $\delta_{кп}=0,15$  мм - погрешность расположения контактной площадки;  $\delta_{фф}=0,06$  - погрешность фотокопии и фотошаблона;  $h_{ф}$  - толщина фольги на диэлектрическом основании.

Минимальная толщина проводника  $t_{пр}$ :

$$t_{пр} = t + \delta_{фф} + 1,5 h_{ф} ,$$

минимальное расстояние между проводниками:

$$s_{пр} = l_{ол} - (t_{пр} + 2\delta_{сп}) ,$$

где  $l_{ол}$  - расстояние между осевыми линиями проводников,  $\delta_{сп}=0,05$  мм - погрешность смещения проводников.

Если полученное значение  $s_{пр} \geq s$  для выбранного класса точности платы, то расстояние  $l_{ол}$  увеличивается.

Электрическое сопротивление печатных проводников должно быть таким, чтобы падение напряжения на проводниках не превышало некоторой допустимой величины. Поэтому после конструкторско-технологического расчета производится расчет площади поперечного сечения сигнальных проводников, проводников питания и земли.

Для сигнальных проводников печатных плат цифровых ФЯ требуемую площадь поперечного сечения находят по формуле:

$$S_c \geq \rho I l / U_{пу} ,$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление проводника,  $I$  - протекающий по проводнику ток,  $l$  - длина проводника,  $U_{пу}$  - запас помехоустойчивости цифровых ИС.

Для проводников питания и земли:

$$S_{пз} \geq \rho I l / (0,01 \dots 0,02) U_{п} ,$$

где  $U_{п}$  - напряжение питания. Для медной катаной фольги  $\rho = 0,017$  Ом/мм<sup>2</sup>м. Запас помехоустойчивости цифровых ИС лежит в пределах 0,4...0,5 В.

Через площадь поперечного сечения и толщину фольги или электрохимически наращенной меди можно найти допустимую ширину печатных проводников  $t_{доп}$ .

При использовании в конструкциях ФЯ электрических соединителей необходимо определить число контактов соединителя, с помощью которых подключаются внешние цепи питания и земли.

Число контактов  $n_k$  соединителя косвенного сочленения:

$$n_k = S_{пз} / (\pi d_v h_f) ,$$

где  $d_v$  - диаметр вывода вилки (розетки) соединителя. Для соединителя прямого сочленения:

$$n_{п} = S_{пз} / S_{кп} ,$$

где  $S_{кп}$  - площадь контактирования в контактной паре соединителя.

Через целочисленное значение  $n_x$  и общее число микросхем на плате  $n$  находят значение  $n_y$ , а по формуле (3.2) - минимальную ширину проводников  $t_{min}$ .

Конструкторская документация на печатные платы разрабатывается в соответствии с ГОСТ 2.417-78.

#### 4.8. Расчет геометрических размеров ФЯ

Типовая конструкция бескаркасной ФЯ блока разъемного типа на корпусных микросхемах приведена на рис. 4.10.

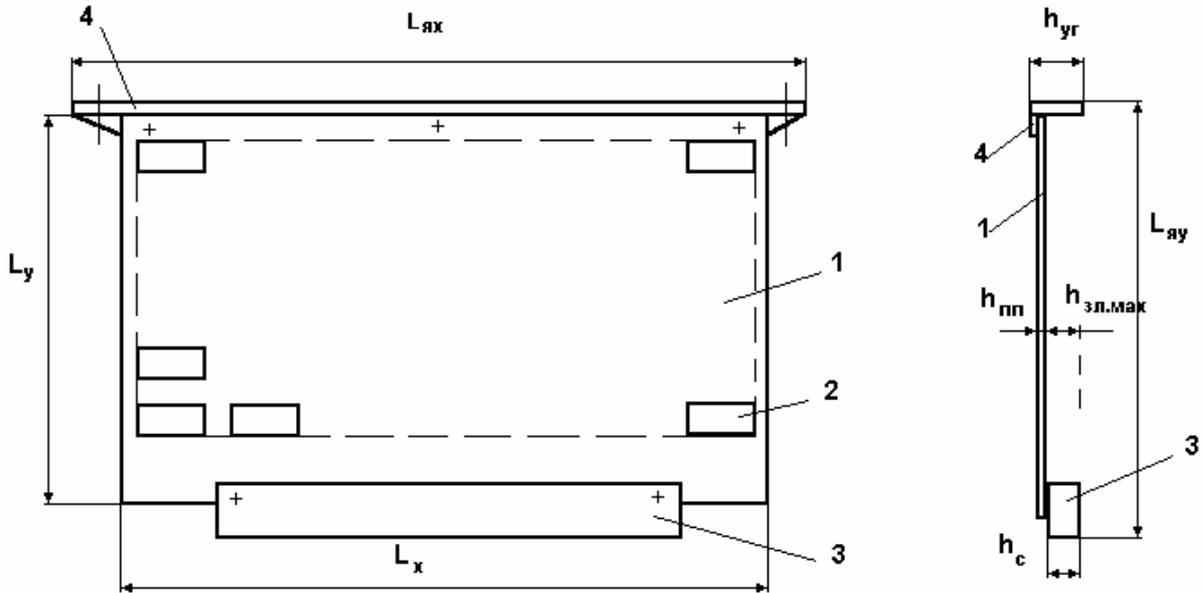


Рис.4.10

Несущим элементом конструкции служит печатная плата 1 с размерами  $L_x$ ,  $L_y$ , на которой размещены корпусные микросхемы 2, вилка электрического соединителя 3 и металлический угольник 4 (лицевая панель, контрольная колодка и др.). Как видно из рисунка, толщина ячейки

$$h_{я} = h_{уг}$$

при условии, что

$$h_{уг} > h_{пп} + h_c,$$

где  $h_{пп}$  - толщина печатной платы,  $h_c$  - высота вилки соединителя или элемента с максимальной высотой. Если

$$h_{уг} < h_{пп} + h_c$$

или угольник в конструкции отсутствует, то

$$h_{я} = h_{пп} + h_c .$$

Для конструкций ФЯ с печатными контактами соединителя при наличии угольника

$$h_{я} = h_{уг} ,$$

при отсутствии:

$$h_{я} = h_{пп} + h_{эл.мах},$$

где  $h_{эл.мах}$  - максимальная высота радиоэлемента, установленного на плате.

В конструкциях ФЯ блоков книжного типа в свободных углах платы монтируются распорные втулки высотой  $h_{вт}$ , исключая контактирование соседних плат в пакете ячеек. Поэтому толщина ФЯ равна

$$h_{я} = h_{пп} + h_{вт} .$$

Габаритные размеры ФЯ в плане складываются из размеров платы  $L_x$ ,  $L_y$  и размеров выступающих за пределы платы элементов конструкции ФЯ: угольника, соединителя и др.

#### 4.9. Конструкции ФЯ аналоговых РЭА на корпусированных ИС и МСБ.

Аналоговые РЭА отличаются от цифровых уровнями обрабатываемых сигналов (на входе десятые доли и единицы мкВ), высокими коэффициентами передачи (60...100 дБ). Уровни сигналов постепенно возрастают от входа к выходу ФЯ, (на выходе составляют десятые доли - единицы В).

Обеспечение устойчивой работы ФЯ требует максимального разнесения входов и выходов. Этим обеспечивается разводка входа и выхода. По этой причине ФЯ аналоговых РЭА выполняют в виде линеек на одной стороне которых вход, а на противоположной - выход.

Расположение ИС и МСБ отслеживает процесс обработки сигналов. Для защиты от внешних электромагнитных полей ФЯ, как правило, помещают в кожух-экран.

Конструкция ФЯ аналоговой РЭА на корпусированных ИС и МСБ представлена на рис. 4.11.

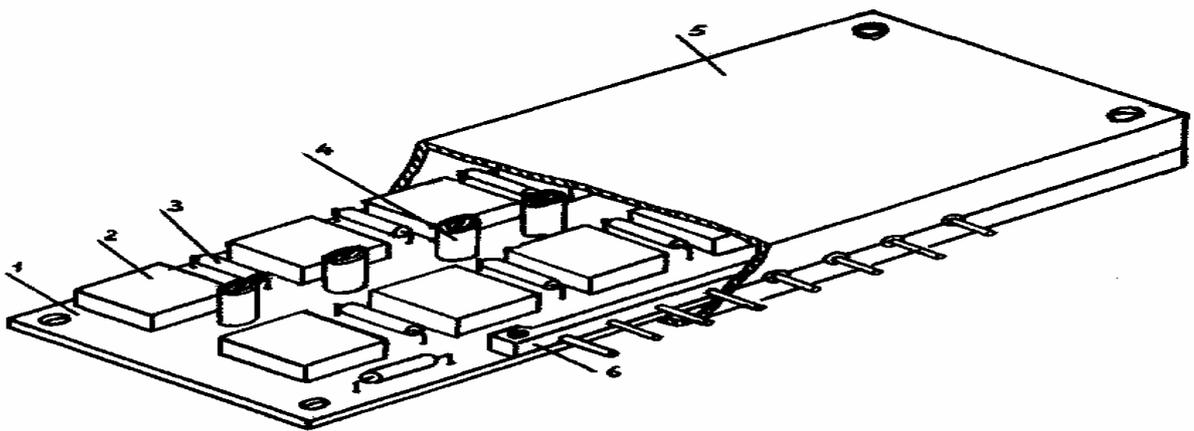


Рис. 4.11

Несущим элементом конструкции является печатная плата (поз.1.), на которой устанавливаются ИС (поз.2), навесные дискретные элементы (поз.3), частотно-избирательные узлы (поз.4) и колодка внешних соединений (поз.6).

Конструкция защищается легким кожухом-экраном (поз.5). ЭРЭ на плате можно устанавливать как с одной стороны, так и с двух сторон печатной платы. Отверстия по углам ФЯ служат для сборки ячеек в блок этажерочной конструкции.

#### 4.10. Компоновка герметичных ячеек цифровых РЭА на бескорпусных МСБ.

Общие принципы компоновки элементов конструкции в герметичных блоках аналогичны негерметичным конструкциям. Существенным отличием является обеспечение необходимой герметичности, а также специфика в отводе тепла для создания нормальных тепловых режимов в блоке.

Все бескорпусные ИС и МСБ в герметичных блоках устанавливаются на индивидуальные или групповые теплоотводящие шины, которые контактируют с корпусом блока, передавая тепло от элементов на корпус. Снятие тепла с корпуса блока происходит естественной конвекцией, для чего увеличивают поверхность блока за счет его ребрения или принудительным обдувом воздуха по корпусу блока. Для увеличения рассеиваемой мощности блока внутрь него вводят воздухопроводы, не нарушающие герметичности корпуса блока. Для выравнивания тепловых полей элементов, находящихся внутри корпуса блока, в нем устанавливают вентилятор, который осуществляет внутреннее перемешивание газа, заполняющего блок. Индивидуальные и групповые тепловые шины обеспечивают сглаживание теплового поля на подложках бескорпусных ИС и МСБ.

Размеры ФЯ цифровых РЭА на МСБ определяются размерами металлического основания (рамки). Конструкция рамки односторонней ФЯ цифровых РЭА на МСБ с типовыми размерами основных элементов конструкции приведен на рис.4.12.

Жесткость рамки обеспечивается наружными 1 и внутренними 2 продольными и поперечными ребрами жесткости. Бескорпусные МСБ устанавливаются на планки 3. Окно 4 в верхней части рамки предназначено для монтажа на печатной плате навесных радиоэлементов, окна 5 - для соединения проволочных выводов МСБ с контактными площадками печатной платы. В зоне 6 рамки на печатной плате располагаются контактные площадки внешних электрических соединений ФЯ.

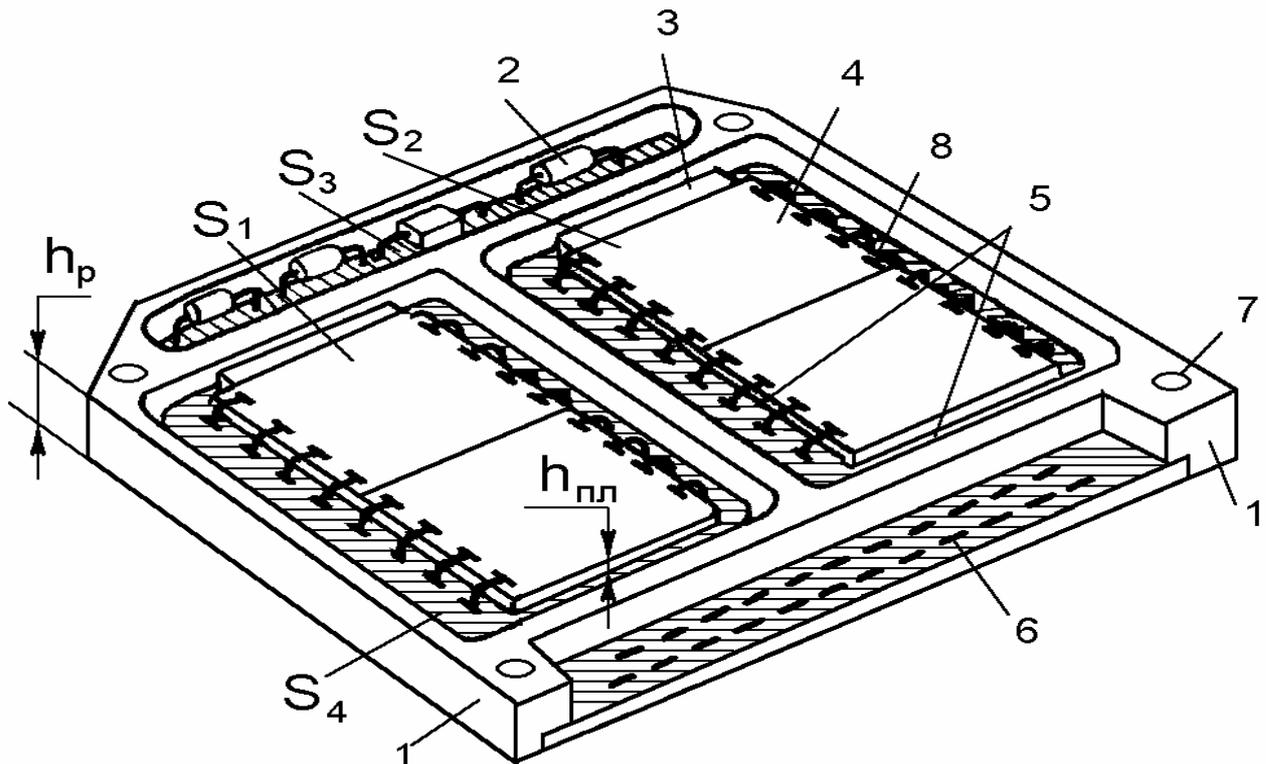


Рис. 4.12

Расчет длины и ширины рамки производится по данным о геометрических размерах и количестве МСБ, размещаемых на рамке. По размерам и числу МСБ, устанавливаемых на одной планке находят размеры планок, к которым добавляют размеры других элементов рамки (рис. 4.13). Ширина планки

$$b_{\text{пл}} = b_{\text{МСБ}} - (2 \dots 3) \text{ мм},$$

где  $b_{\text{МСБ}}$  - ширина микросборки. Длина планки

$$l_{\text{пл}} = n l_{\text{МСБ}} + (n+1) l_3,$$

где  $n$  - число МСБ на планке,  $l_{\text{МСБ}}$  - длина подложки МСБ,  $l_3$  - расстояние между МСБ и между МСБ и горизонтальными ребрами жесткости рамки. Обычно  $l_3$  не превышает 1...2 мм.

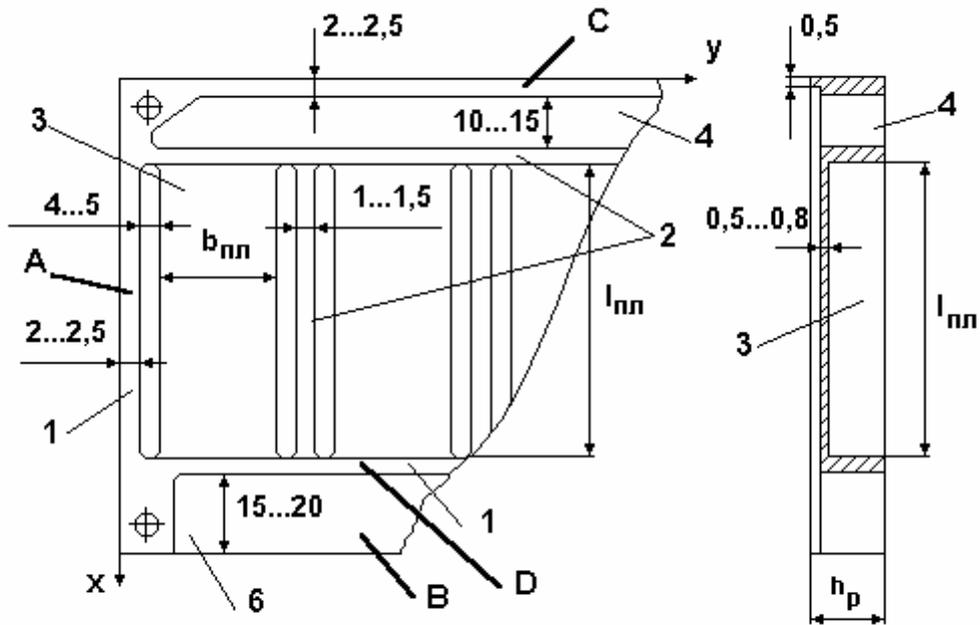


Рис. 4.13

Особенностью конструкции двухсторонней ФЯ (рис.4.14) по сравнению с односторонней является отсутствие печатной платы. Соединения между МСБ (2), находящимися на одной стороне рамки (1) осуществляются проволочными перемычками из золота диаметром 30-50 мкм между контактными площадками соседних МСБ. Такое расположение МСБ называется "непрерывная микросхема".

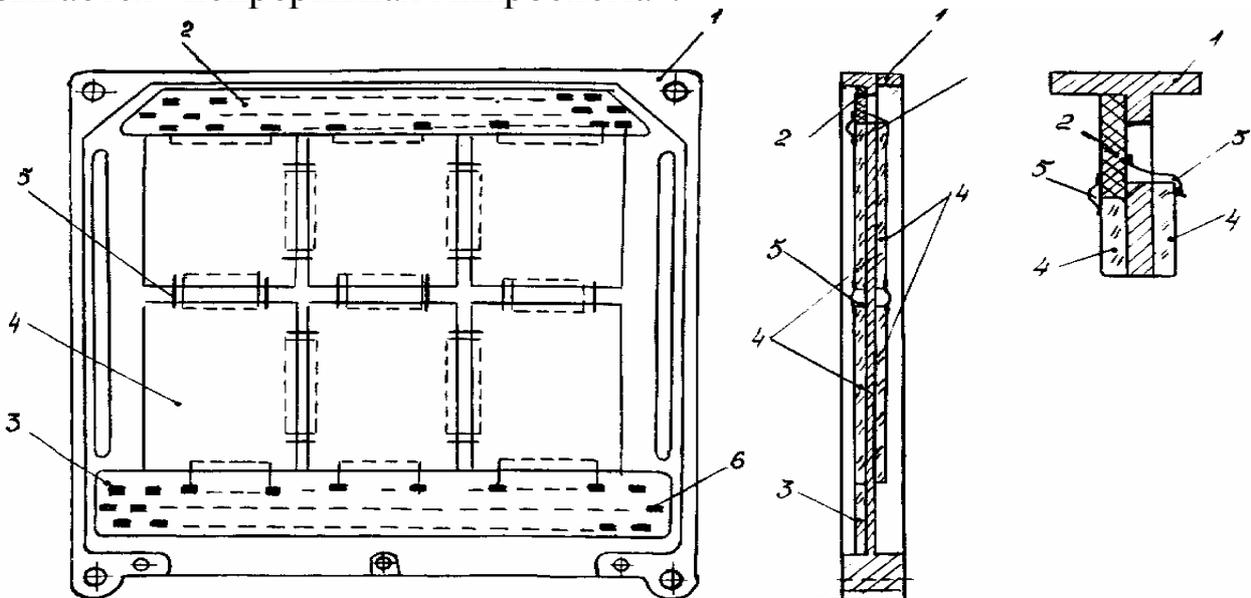


Рис. 4.14

Электрические соединения между МСБ, находящимися на противоположных сторонах рамки осуществляется с помощью печатных вставок (3) и (4). В случае необходимости между контактами печатных вставок

может быть осуществлена электрическая связь изолированными проводами (ГФ-100, провод в эмалевой изоляции), которые организуются в жгут (7) и закрепляются мастикой в каналах между ребром (6) и внутренним краем рамки. Печатная вставка (4) служит также для внешних связей ФЯ внутри блока.

Такая компоновка предполагает предварительную фиксацию контактных площадок в каждой МСБ с целью осуществления электрической коммутации в ФЯ и только после этого разрабатывается топология каждой МСБ.

#### 4.11. Конструкции ФЯ аналоговых РЭА на бескорпусных МСБ.

Принципы построения ФЯ аналоговых РЭА на бескорпусных МСБ аналогичны, что и для конструкций на корпусированной элементной базе: расположение МСБ отслеживает процесс обработки сигналов. Для защиты от внешних электромагнитных полей ФЯ, как правило, помещаются в кожух-экран (рис.4.15).

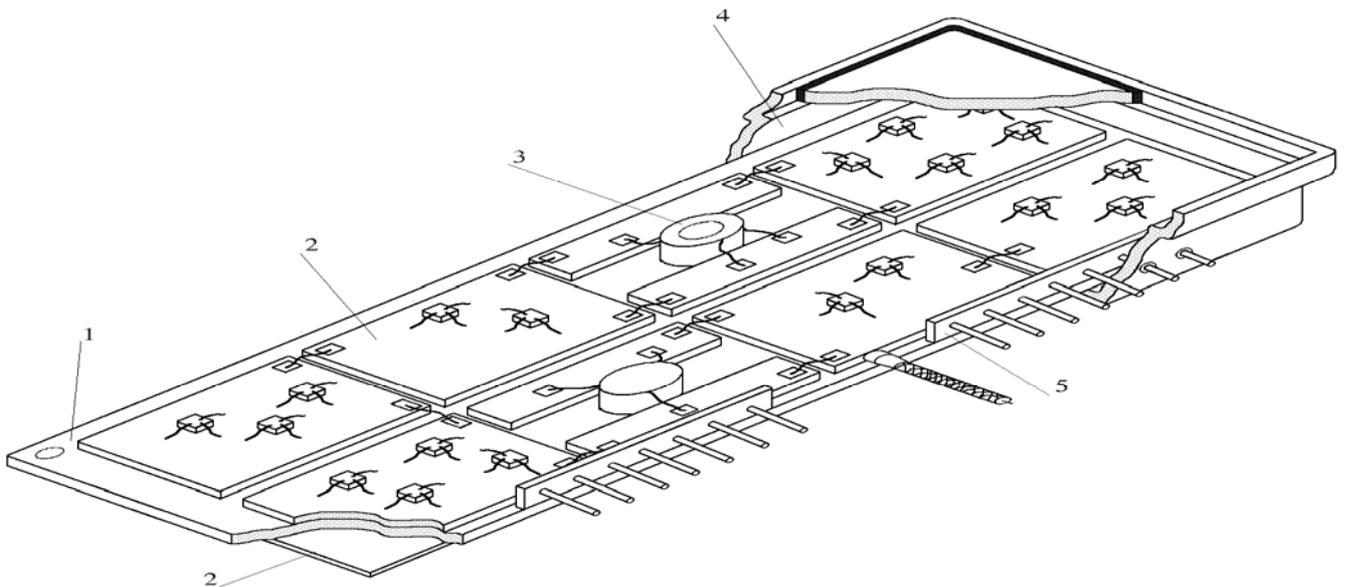


Рис. 4.15

Несущим элементом конструкции аналоговой ФЯ на бескорпусных МСБ служит металлическое основание - пластина (1), на которую устанавливаются МСБ (2) с одной или двух сторон, частотно-избирательные элементы (3), колодки внешней коммутации (5). МСБ размещены по принципу "непрерывной микросхемы", печатная плата в конструкции отсутствует. Коммутация между МСБ осуществляется переключением контактных площадок соседних МСБ. Основание с МСБ помещается в легкий кожух-экран (4) который состоит из коробчатого основания и

крышки (на рисунке не показана). В некоторых случаях основанием может служить печатная плата, объединяющая отдельные МСБ.

Конструкция аналоговой ФЯ, размещаемой на объекте вне герметичной конструкции корпуса имеет вид (рис.4.16.).

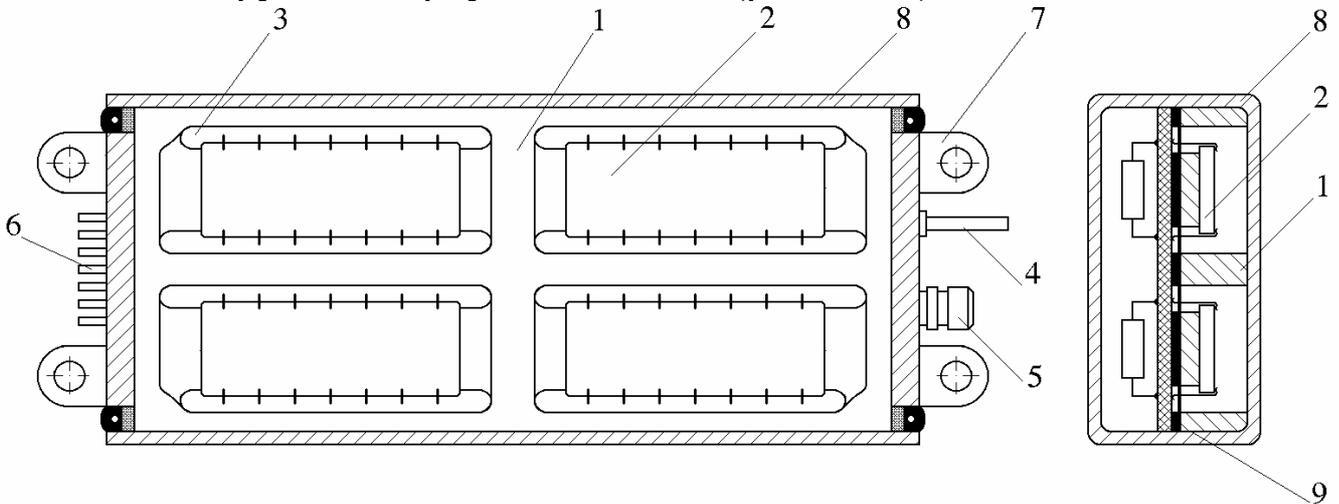


Рис. 4.16

Несущей конструкцией ФЯ является каркас (1) с одной стороны которого устанавливаются МСБ (2), а с другой - печатная плата (9). Коммутация между МСБ и печатной платой осуществляется проволочными перемычками в отверстия (3) рамки. С обратной стороны печатной платы могут устанавливаться дискретные радиокомпоненты. Каркас закрывается кожухом (8). Герметизация осуществляется пайкой по периметру шва. На лицевых панелях кожуха размещаются герморазъемы НЧ (6) и ВЧ (5), кронштейны для закрепления ФЯ на объекте-носителе (7), штенгель-трубка (4).

Размеры оснований аналоговых ячеек пенального типа могут быть найдены аналогично расчету размеров односторонней ФЯ цифровых РЭА.

#### 4.12. Конструкция герметичного блока цифрового РЭА книжной компоновки

Конструкция блока представлена на рис. 4.17.

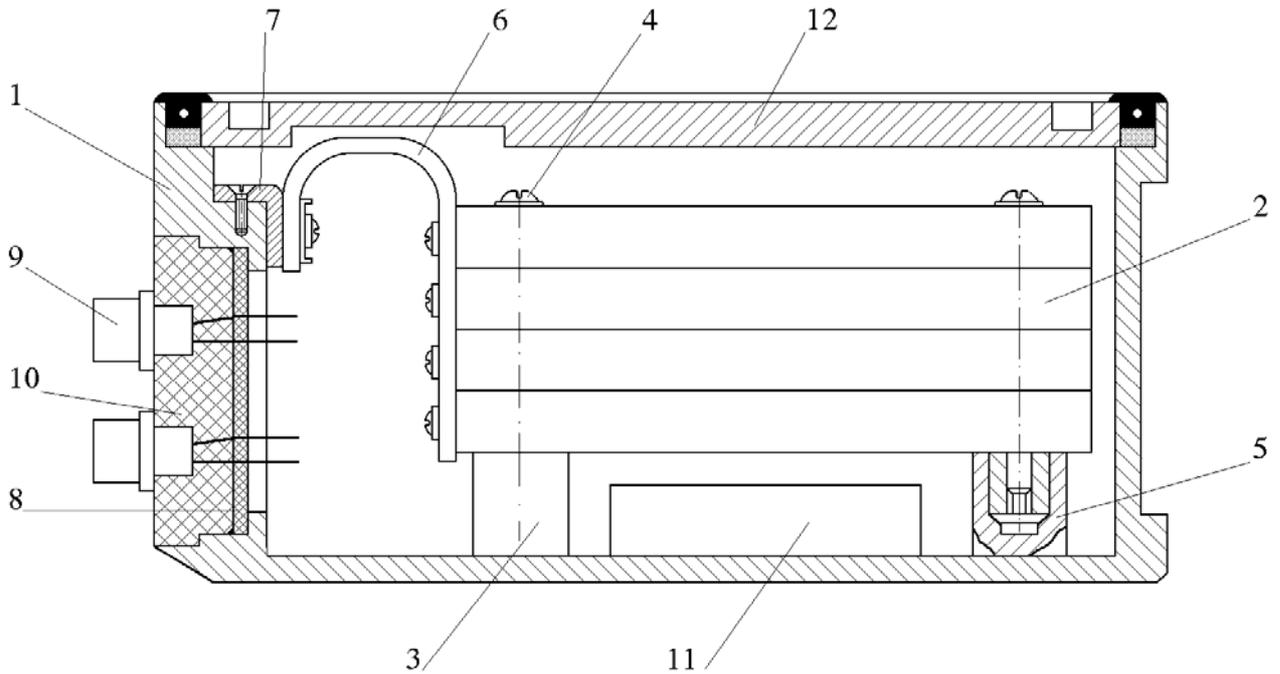


Рис. 4.17

Пакет функциональных ячеек (2) стянут винтами (4) к бобышкам (3) в нижней части корпуса. Корпус выполняется из алюминиевых сплавов или стали и может быть сварным. На передней, более толстой стенке корпуса (1) укреплены и загерметизированы разъемы типа РПС (9), трубка штенгель, винт заземления. Тонкие стенки корпуса имеют толщину 2...3 мм, а передняя 6...8 мм. Монтаж между ячейками может осуществляться гибкой матрицей-ремнем (6) или гибкими шлейфами. Матрица представляет собой лист из бессернистой резины с пробитыми в нем отверстиями диаметром 1,5...2 мм, через которые прошиваются жгуты из микропроводочного монтажного провода ГФ-100М.

#### 4.13. Конструкция герметичного блока аналогового РЭА этажерочной компоновки

Конструкция блока представлена на рис. 4.18. Несущей конструкцией блока является основание (1), на бобышки (2) которого устанавливаются две этажерки негерметичных ФЯ (3) в кожухах-экранах. Они стягиваются в пакет с помощью винтов или шпилек (4). С внешней стороны основания устанавливаются НЧ и РЧ соединители (5), штенгель-трубка (6) и, если необходимо, клемма заземления. На основание одевается тонкостенный кожух (1). Герметизация блока осуществляется паяным швом в зазоре между основанием и кожухом (8). Электрические соединения

между ФЯ выполняются проволочно-жгутовым монтажом между выводами ФЯ.

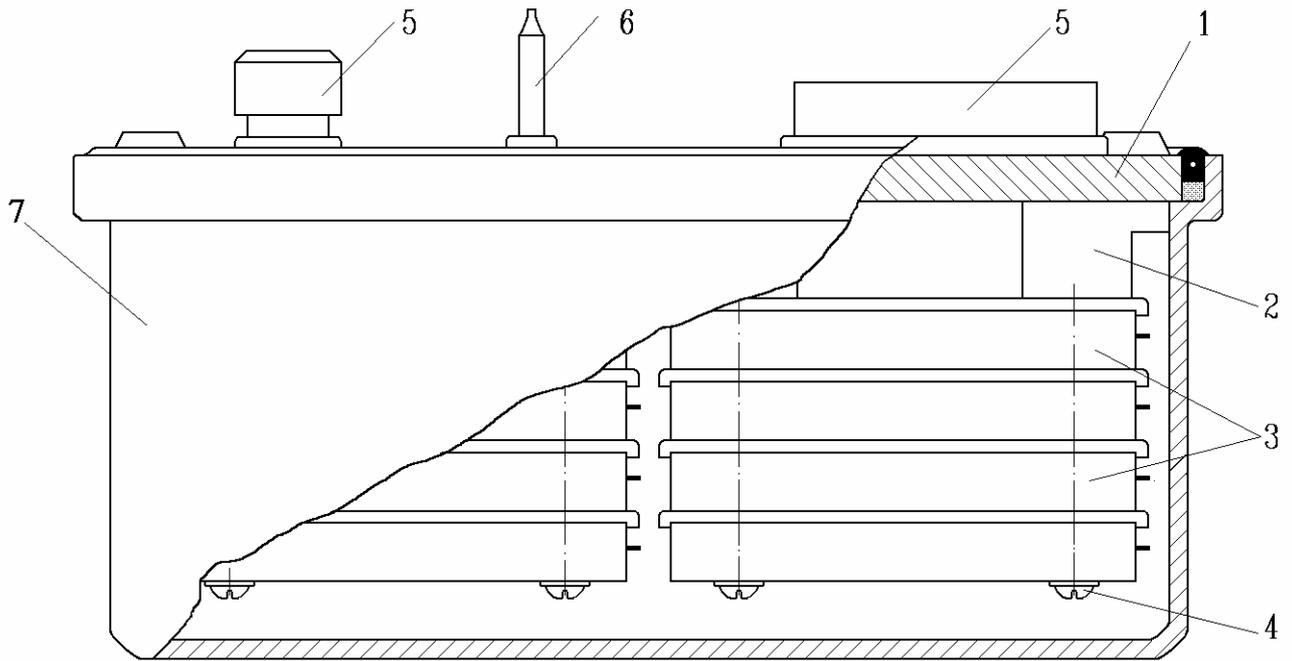


Рис. 4.18

### Герметизация РЭА

Для защиты РЭА от климатических воздействий широко применяется герметизация отдельных элементов, сборочных единиц и всего изделия в целом. Все методы герметизации можно условно разделить на две группы: бескорпусную и корпусную герметизацию. К первой группе относится пропитка, обволакивание, пассивирование, во вторую группу включена герметизация изделий в корпусах из неорганических материалов, литьевым прессованием, заливкой и капсулированием.

Основную часть материалов, используемых для герметизации составляют органические полимеры и композиции на их основе: термопластичные и терморезистивные. Они характеризуются доступностью сырья, простотой переработки, широким диапазоном свойств, возможностью автоматизации ТП, экономичностью.

Для герметизации используются и неорганические материалы, которые практически не адсорбируют влагу, обладают высокой нагревостойкостью и стойкостью к воздействию механических нагрузок, не выделяют летучих соединений. Из металлических материалов изготавливают ва-

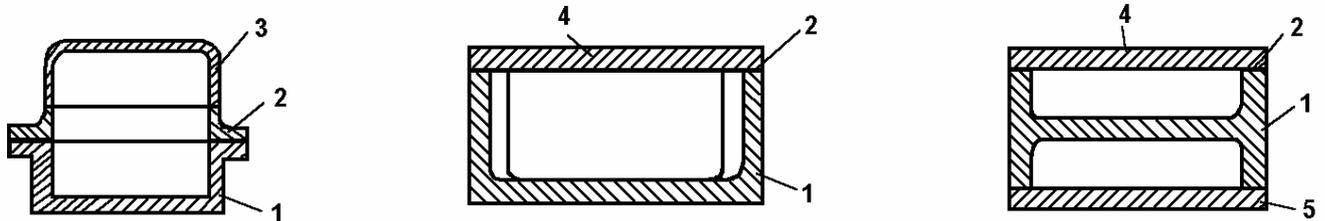
куум-плотные корпуса (металлические, стеклянные, керамические) или наносят защитное покрытие (легкоплавкие стекла, окисные пленки кремния или алюминия, нитриды кремния). Использование таких корпусов усложняет сборку и герметизацию изделия, вызывает повышенный расход материала, затрудняет механизацию процесса. По этим причинам герметизация в вакуум-плотные корпуса с использованием неорганических материалов применяется в случаях предъявления к изделиям особенно жестких требований. Пленочные защитные покрытия имеют малую толщину (0,5...10)мкм и используются для стабилизации параметров полупроводниковых приборов и ИС на стадии производства.

По виду герметизирующие полимерные покрытия разделяют на лаки, эмали и компаунды. Наибольшее распространение при пропитке катушек индуктивности, деталей из текстолита, гетинакса и стеклотекстолита нашли лаки МЛ-92, ФЛ-98, КЛ-835, ПЭ-933 и др. Для влагозащиты печатных плат, гибких кабелей, ВЧ ячеек применяют лаки УР-231, ЭП-9114, ЭП-730, ФЛ-582, ФП-525.

Эластичные кремнийорганические компаунды типа "Виксинт", "Эластосил" и другие применяются для влагозащиты полупроводниковых приборов и ИС, катушек индуктивности из микропроводов и др. Недостатками этих материалов является низкая адгезия и механическая прочность, выделение продуктов, вызывающих коррозию металлов.

Для повышения тепло- звуко- и электроизоляционных свойств, вибростойкости, устойчивости к воздействию масел, щелочей, грибковой плесени отдельных элементов, сборочных единиц и изделия в целом применяют пенокомпаунды: ПУ-101Т, ППУ-3М-1, ПСВ, ПЭ-9 и др.

При герметизации в вакуум-плотных корпусах конструкция изделия содержит основание, крышку, выводы (НЧ, ВЧ, СВЧ), проходные изоляторы и при необходимости откачные трубки (рис. 4.19.).



а - корпус с кожухом; б - корпус с крышкой; в - корпус с двумя крышками;  
1 - корпус, 2 - уплотнительный стык, 3 - кожух, 4 - крышка, 5 - поддон.

Рис.4.19

Качество герметизации определяется правильным выбором материалов и их сочетаний (согласованностью ТКР, высокой теплопроводностью, пластичностью, минимальной газо- и влагопроницаемостью), а

также надежностью получаемых соединений. Для изготовления корпусов используются материалы: медь, латунь, сталь, алюминиевые сплавы (МА-8), магниевые сплавы (ВТ-1), никель, сплавы железа с никелем и кобальтом (29НК), стекло, керамика (22ХС) и др.

Неразъемная герметизация блока осуществляется сваркой плавлением, роликовой, электронно-лучевой, плазменной и лазерной. Демонтируемая сварка между корпусом 1 и крышкой 2 блока (рис.4.19, а,б) производится оплавлением плазменным или лазерным способом. Поскольку глубина сварки  $t_{св}$  при этом лежит в пределах  $t_{св}=0,2-0,4$  мм, то при реальной ширине бортика  $bб$ , равного  $bб=1,5-2$  мм (рис.3. ,а) и  $bб=3-4$  мм (рис.4.19, б) можно демонтировать соединения механическим способом фрезерованием до 3-4 раз или 6-8 раз соответственно.

К конструкциям паяного соединения (рис.4.19, в) предъявляются следующие требования: наличие тепловой канавки, прямоугольное сечение уплотнительного шнура - прокладки из термостойкой резины. Ширина прокладки должна быть на 0,2-0,3 мм больше ширины зазора между крышкой и корпусом. Диаметр проволоки должен быть меньше ширины зазора на 0,1-0,2 мм. Герметизация осуществляется методом пайки по шву между корпусом и крышкой. В зазор между крышкой и корпусом укладывается резиновая прокладка, которая центрирует крышку относительно корпуса и исключает возможность проникновения в корпус паров флюса и припоя в процессе пайки. На резиновую прокладку укладывается стальная проволока, свободный конец которой выводится в специальное углубление на крышке. После закладки проволоки проводится пайка шва. Пайка проводится припоем ПОС-61 с флюсом ФСКП.

После пайки через откачную трубку-штенгель в блоке создают разряжение до 1,3 Па и блок проверяют на герметичность. Далее блок заполняют сухим азотом с точкой выпадения росы - 50°С до давления 0,13 МПа. Рабочая длина трубки  $l$  выбирается в зависимости от планируемого числа циклов ремонтной разгерметизации (до 3-5 раз).

Герметизация паяным швом допускает вскрытие блока до 5 раз (рис. 4.20). Для вскрытия достаточно потянуть за свободный конец проволоки, который прорежет слой припоя.

Материалы и покрытия элементов конструкции блоков, герметизируемых паяным соединением, приведены в табл.4.6.

Таблица 4.6

Материал	Покрытие по ГОСТ9.305-84	Условия эксплуатации
АМц	Н15.М6.О-Ви(99,7)9	легкие
АМц	Н15.М6.О-Ви(99,7)12	легкие, средние позволяет осуществить пайку

АМг	Н24.О-Ви(99,7)12	средние
Д16	Н24.О-Ви(99,7)12	жесткие
В95	Н24.О-Ви(99,7)12	жесткие
Л63	Ср6.Н3.ОВи(99,7)3	средние
ЛС-59-1	Н3.О-Ви(99,7)6	жесткие
Ст.20	М3.О-Ви(99,7)36	средние
Вт1-0	Н6.М3.Ср6	жесткие

При разработке герметичных корпусов необходимо выбирать стенки корпуса и зазоры между корпусом блока и пакетом ФЯ с учетом напряжений и деформаций, возникающих в этих корпусах при подъеме их на высоту (внутреннее избыточное давление) и при погружении на глубину (внешнее избыточное давление). В первом случае стенки корпуса выпучиваются, во втором - деформируются во внутрь корпуса. Герметичные корпуса выполняют в форме цилиндра и параллелепипеда с квадратными или прямоугольными стенками.