



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**МОСКОВСКИЙ  
АВИАЦИОННЫЙ  
ИНСТИТУТ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**КОНСТРУИРОВАНИЕ  
РЭС**

МОСКВА • 1991

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

---

## КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию

Утверждено  
на заседании редсовета  
17 мая 1990 г.

Москва  
Издательство МАИ 1991

621.396.6 (075) К 65

УДК: 621.396.6 (075.8)

Авторы: В.Ф. Борисов (разд. 1.2, 1.3.1 и П6), А.А. Мухин (разд. 1.4.1, 1.4.2, 1.4.4, 1.4.5 и П3), А.С. Назаров (разд. 1.3.1, 1.3.3, 1.4.3, 2.1, П4), Ю.В. Чайка (разд. 1.3.2, 1.5, 2.2, П1, П7), А.Н. Чекмарев (разд. 1.4.3), Г.Т. Сергеев Ш 2, П6), В.А. Шаров (П2, П6), Б.Д. Щурьгин (П2, П6).

Конструирование РХ: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / Авт.-сост: В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, А.С. Назаров и др. - М.: МАИ, 1991. - 96 с.: ил.

В пособии предложены рекомендации и необходимая техническая и справочная информация по разработке конструкций РЭС различных уровней, выполнению расчетов параметров конструкций и расчетов по обеспечению требований технического задания.

Для студентов, обучающихся по специальности "Конструирование и технология РЭС".

Рецензенты: А.Н. Акимов, Т.А. Рычина

ISBN 5-7035-0362-0 (с) Московский авиационный институт, 1991

## I. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ РЭС

### I.1. ВЫБОР МЕТОДА КОНСТРУИРОВАНИЯ. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ РЭС. БАЗОВЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Методы конструирования РХ разделяются на три взаимосвязанные группы: по видам связей между элементами (геометрический, машиностроительный и топологический методы), по способу выявления и организации структуры связей между элементами (методы моноконструкций, базовый), по степени автоматизации выявления структуры связей между элементами (эвристический, автоматизированный).

Выбор метода конструирования производится -по результатам сравнительного анализа перечисленных методов с позиций назначения, надежности, технологичности, ремонтпригодности и стоимости РЭС. Так, для бытовой и ракетно-космической аппаратуры наиболее характерен метод моноконструкций, реализуемый в виде моноблока на основе оригинальной несущей конструкции. Для стационарной, подвижной и переносной аппаратуры специального назначения (ЭВМ, радиолокация и т.п.) основным является базовый метод конструирования. Характеристика сложившихся в настоящее время методов конструирования РЭС приведена в работе [3], особенности методов конструирования микроэлектронных вычислительных устройств изложены в книге [8].

Обеспечение минимальных затрат и сроков разработки новых видов РЭС, повышение надежности аппаратуры за счет применения устройств, неоднократно проверенных в эксплуатации, сокращение стоимости изготовления благодаря прогрессивным технологическим процессам возможно лишь с использованием стандартизации в конструкциях РЭС. Одним из основных методов стандартизации, направленных на сокращение номенклатуры объектов и, следовательно, на повышение их серийности и снижение трудоемкости производства, является унификация. Унификация - это установление разновидностей объектов одинакового функционального назначения для решения конкретной проблемы.

Уровни стандартизации и унификации разрабатываемой аппаратуры определяются количественными показателями - коэффициентами стандартизации, унификации, повторяемости.

Коэффициент стандартизации  $K_{ст}$  рассчитывают по формуле  $K_{ст} = N_{ст}/N$ , где  $N_{ст}$  количество стандартных сборочных единиц и деталей (без учета стандартного крепежа);  $N$  - общее количество сборочных единиц и деталей в изделии.

Коэффициент унификации  $K_y$  определяют также по приведенному выражению, где вместо  $N_{ст}$  подставляют количество унифицированных сборочных единиц и деталей  $N_y$ .

Коэффициент повторяемости  $K_{п}$  определяют по формуле  $K_{п} = 1 - N_H / N_I$ , - количество наименований типоразмеров сборочных единиц изделия и его деталей, не вошедших в состав сборочных единиц;  $A_f$  - общее количество сборочных единиц и деталей (без учета стандартного крепежа) в изделии.

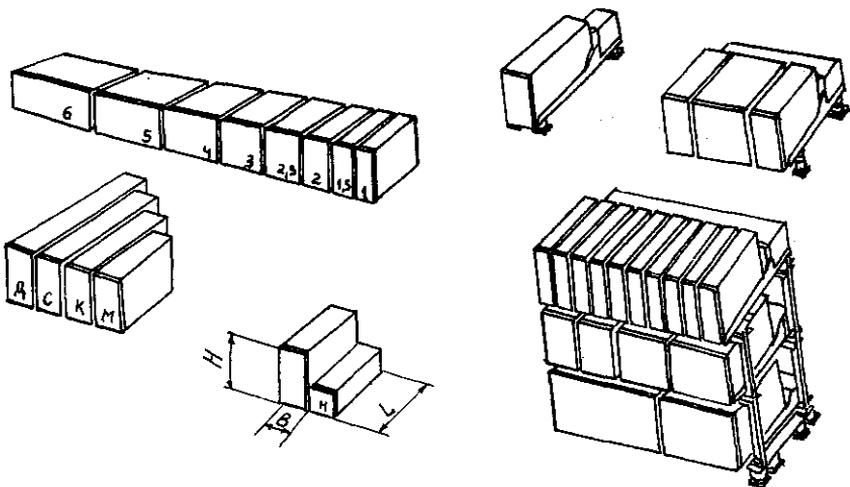
При разработке новых РЭС необходимо стремиться к тому, чтобы показатели  $K^{\wedge}$ ,  $/C$  и  $/C_{п}$  имели более высокие значения, чем у аналогов.

Необходимой составной частью всех уровней компоновки РЭС являются несущая конструкция (НК). При построении НК важное значение приобретает типизация и унификация, позволяющая их использование в изделиях, отнесенных к одному и тому же виду. Классификация аппаратуры по виду приведена в табл. I.I.

Т а б л и ц а I.I

Условное обозначение вида	Вид аппаратуры	Условное обозначение вида	Вид аппаратуры
1	Стационарные ЭВМ	5	Аппаратура возимая (самоходные шасси)
2	Аппаратура дискретной автоматики	6	Морская аппаратура
3	Аппаратура стационарная (кроме ЭВМ)	7	Самолетная аппаратура
4	Аппаратура возимая (колесные шасси)		

НК определенного вида аппаратуры, габариты которой стандартизованы, называют базовой несущей конструкцией (БНК). Наиболее



Типоразмер корпуса блока	Габаритные размеры, мм				Объем, дм <sup>3</sup>	Типоразмер корпуса блока	Габаритные размеры, мм			Объем, дм <sup>3</sup>
	L	H	B	V			L	H	B	
1 M	250	194	57	2,8	1 A	497	194	57	5,5	
1,5 M			90,5	4,4	1,5 A			90,5	8,7	
2 M			124	6,0	2 A			124	12,0	
2,5 M			157	7,6	2,5 A			157	15,2	
3 M			190,5	9,2	3 A			190,5	18,4	
(4 M)	257	12,5	4 A	257	24,9					
1 K	319	194	57	3,5	5 A	250	88	57	1,2,5	
1,5 K			90,5	5,6	6 A			90,5	2,0	
2 K			124	7,7	1 M H			124	2,7	
2,5 K			157	9,7	1,5 M H			319	124	1,6
3 K			190,5	11,8	2 M H					
4 K	257	16,0	1 K H	90,5	2,5					
(5 K)	324	20,1	1,5 K H	124	3,5					
1 C	420	194	57	4,6	2 K H					
1,5 C			90,5	7,4						
2 C			124	10,1						
2,5 C			157	12,8						
3 C			190,5	15,6						
4 C			257	21,0						
5 C			324	26,6						
6 C	390,5	32,0								

Рис. I.I

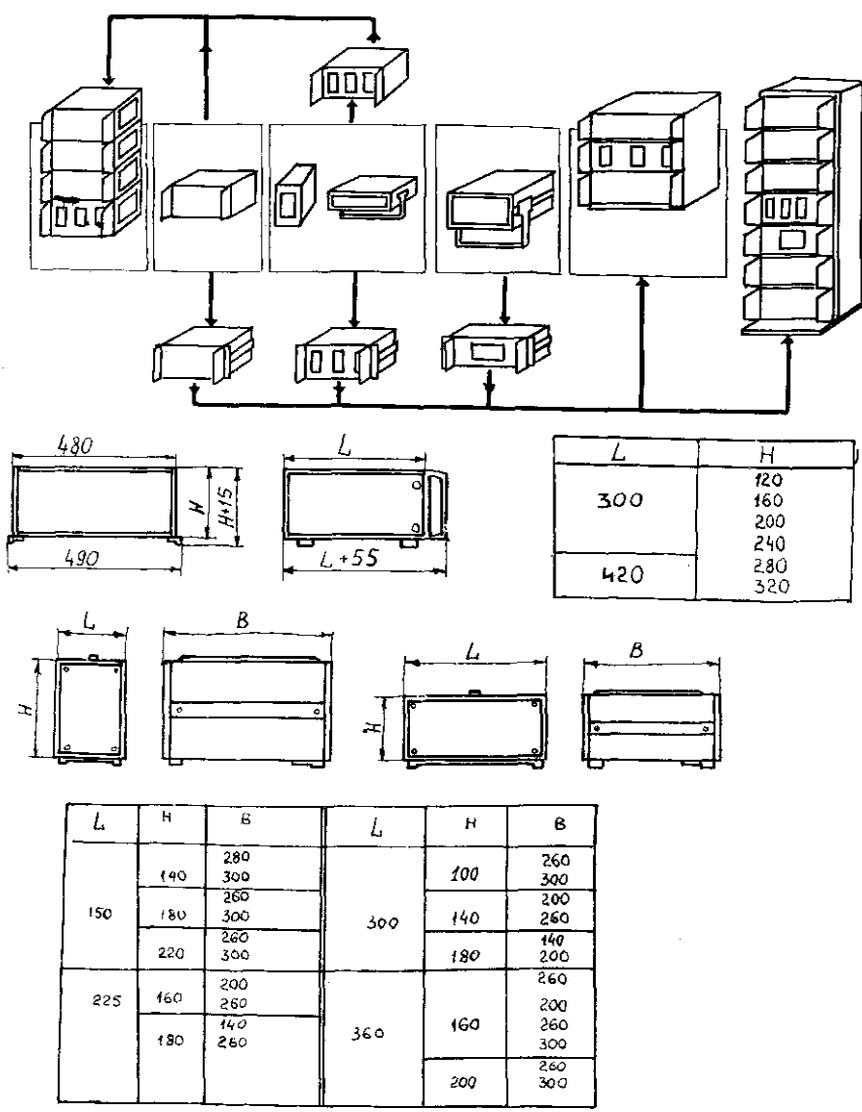


Рис. I.2

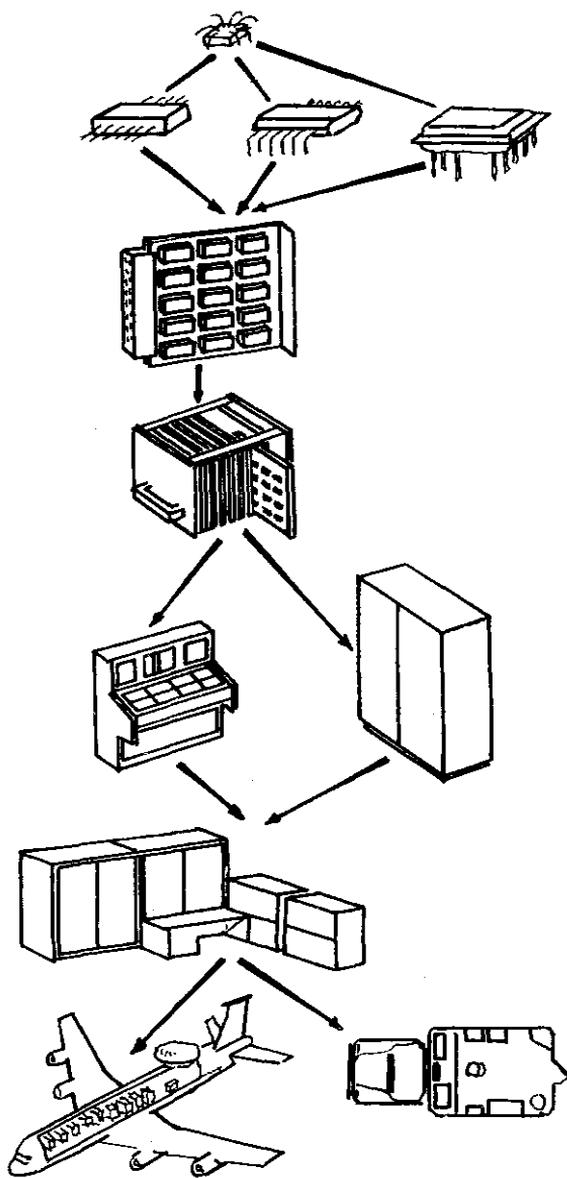


Рис. 1.3

распространенные системы БНК, используемые для компоновки радиоаппаратуры: самолетных РЭС (рис. 1.1), измерительных приборов (рис. 1.2), унифицированных конструкций (рис. 1.3).

Оптимальным является применение ограниченной номенклатуры БНК в аппаратуре любого вида. Такие БНК называют унифицированными (УБНК). Основные размеры, условное обозначение, варианты конструкций БНК функциональных ячеек (БНК1) регламентированы ОСТ 4Г 0.410.224-84. БНК1 - печатная плата с размерами: 170x75; 170x110; 170x150 и 170x200 мм, основным типоразмером является 170x200 мм. Всегда вдоль стороны с размером 170 мм устанавливают электрический соединитель СНПЗ4 и панель, предназначенную для крепления ячейки в составе БНК блока (БНК2). Минимальный шаг установки унифицированных ячеек в блоке - 15 мм. Типоразмерные ряды БНК самолетных РЭС и измерительных приборов приведены на рис. 1.1 и 1.2.

## 1.2. ВЫБОР РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выбор материалов является важнейшим этапом конструирования. При выборе конструкционных материалов необходимо учитывать комплекс разнообразных взаимосвязанных физико-механических, химических, технологических и других требований.

Материалы конструкций должны отвечать следующим требованиям: высокая удельная прочность; малая плотность; электрохимическая, тепловая и технологическая совместимость; низкая стоимость.

Большое число марок материалов, близких по показателям качества, многообразие этих показателей, сложные ситуации, возникающие при анализе показателей, затрудняют однозначный выбор лучшего материала. Поэтому для объективной оценки качества того или иного материала по множеству характеристик рекомендуется использовать комплексный показатель качества. Вопросы применения комплексного показателя для выбора лучшего варианта подробно изложены в разд. 4.6 [II]. Следует лишь отметить, что дифференциальные показатели качества материалов должны быть обоснованы и увязаны с техническими требованиями к конструкции, записанными в ТЗ на разработку.

Справочные данные по конструкционным и радиоматериалам приведены в приложении 1.

### 1.3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ МИКРОСБОРОК И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЯЧЕЕК РЭС

#### 1.3.1. Расчет геометрических размеров коммутационных оснований

Коммутационными основаниями микросборок служат диэлектрические подложки, функциональных ячеек - печатные платы. Расчет геометрических размеров коммутационных оснований состоит в выборе типоразмера основания по заданным числу и типам комплектующих элементов (проектный расчет) или в проверке возможности размещения заданного количества комплектующих элементов на коммутационном основании определенного типоразмера (поверочный расчет).

Подход к расчету геометрических размеров подложки микросборки зависит от ее функционального назначения (цифровая, аналоговая, силовая) и технологии изготовления (тонкопленочная или толстопленочная).

Микросборки цифровых РЭС имеют обычно регулярную структуру, микросборки аналоговых и силовых РЭС содержат разногабаритные компоненты, размещенные на подложке чаще всего в нерегулярном порядке.

Структура цифровой тонкопленочной микросборки приведена на рис. 1.4,а. Как следует из рисунка, геометрические размеры подложки микросборки можно найти по формулам:

$$l_{nx} = (n_x - 1) \cdot t_x + a + 2 \cdot \Delta_T \quad l_{ny} = (n_y - 1) \cdot t_y + b + 2 \cdot \Delta_T$$

где  $n_x$ ,  $n_y$  - число бескорпусных ИС соответственно в строке и столбце;  $t_x$ ,  $t_y$  - шаги размещения ИС в строке и столбце;  $a$  и  $b$  - размеры посадочного места бескорпусной ИС;  $\Delta_T$  - ширина технологической зоны по периметру подложки;  $t_x = a + a_1$ ,  $t_y = b + b_1$ , - шаги размещения ИС в строке и в столбце соответственно;  $a_1$ ,  $b_1$  - расстояния между границами посадочных мест соседних в строке и столбце.

Значения  $a_1$  и  $b_1$ , зависят от числа тонкопленочных проводников, которые предполагается проложить между соседними ИС в одном слое коммутации, и разрешающей способности технологического процесса получения конфигурации элементов микросборки. При числе проводников  $n_n$  в одном слое между ИС, расположенными в строке, и разрешающей способности  $\Delta_{pT}$  технологического процесса значение  $a_1 = (2n_n + 1) \Delta_{pT}$ . В реальных конструкциях микросборок обычно  $a_1 = b_1$ .

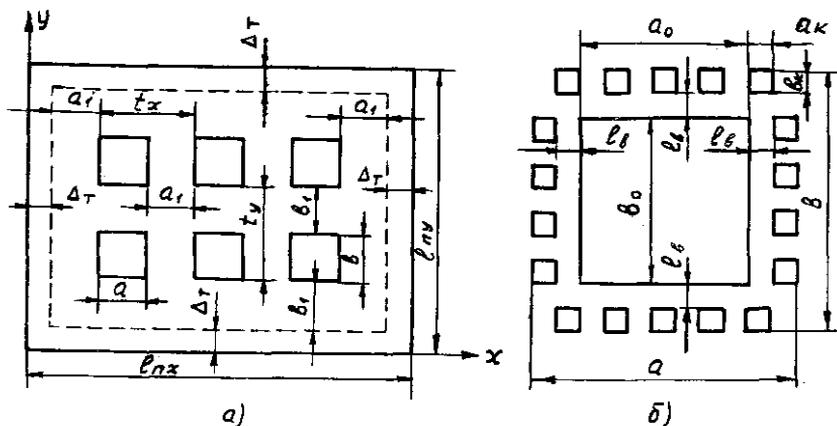


Рис. 1.4

Размеры посадочного места  $a$ ,  $b$  (рис. 1.4,б) бескорпусной ИС определяются размерами кристалла  $a_0$ ,  $b_0$ , типом и количеством выводов и оговоренными в ТУ ограничениями на установку кристалла. Для бескорпусных ИС с гибкими выводами (исполнение I) минимальные размеры установочного места находят по очевидным соотношениям:

$$a_{\min} = a_0 + 2(l_{\min} + a_k), \quad b_{\min} = b_0 + 2(l_{\min} + b_k),$$

где  $l_{\min}$  - минимально допустимая длина выводов ИС;  $a_k$ ,  $b_k$  - геометрические размеры контактных площадок.

Для ИС с шариковыми выводами размеры посадочного места совпадают с размерами кристалла.

Величина технологической зоны  $\Delta_T$  складывается из краевого го-ля  $\Delta_k$  и зоны для размещения внешних контактных площадок.

Конструктивно-технологические ограничения на элементы тонкопленочных микросборок для различных технологических методов получения конфигурации элементов приведены в [4]. Справочные данные до бескорпусным ИС даны в приложении 2.

Расчет геометрических размеров подложки аналоговых и силовых МСБ состоит в определении площади подложки  $S_{\text{пл}}$ , по которой выбирают соответствующий типоразмер. Приближенное значение площади подложки находят с помощью соотношения  $S_{\text{пл}} = q_s \cdot \sum_{i=1}^n S_i$  где  $S_i$  - площади элементов и компонентов микросборки,  $q_s = 3 \dots 10$  - коэффи-

коэффициент дезинтеграции площади подложки;  $n$  - число элементов и компонентов.  
 Выбор типоразмера подложки производится из табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1 . 2

Типо-раз-мер	$l_{nx}$ мм	$l_{ny}$ мм									
1	96	120	6	20	24	11	5	6	16	8	10
2	60	96	7	16	20	12	2,5	4	17	24	60
3	46	60	8	12	16	13	16	60	18	40	48
4	30	48	9	10	16	14	32	60	19	20	48
5	24	30	10	10	12	15	8	15	-	-	-

Приведенные в табл. 1.2 типоразмеры 3...10 предназначены для установки в стандартные корпуса, остальные - для бескорпусных микросборок.

Схема размещения корпусных ИС на печатной плате функциональной ячейки (9Н) цифрового РЭС показано на рис. 1.5. Согласно рисунку, геометрические размеры платы, на которой предполагается разместить  $n_x n_y$  микросхем, определяются по формулам:

$$L_x = (n_x - 1)t_x + l_x + x_1 + x_2;$$

$$L_y = (n_y - 1)t_y + l_y + y_1 + y_2;$$

где  $t_x, t_y$  - шаги установки ИС на плате по направлениям  $x$  и  $y$ ,  $l_x, l_y$  - размеры корпуса ИС;  $x_1, x_2, y_1, y_2$  - краевые поля.

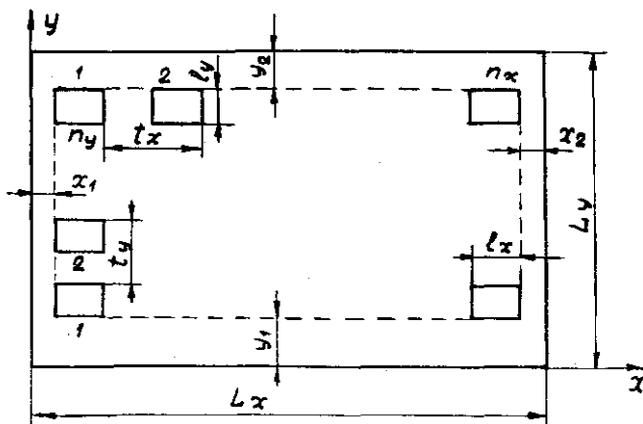


Рис. 1.5

Таблица 1.3

Ши-ри-на	Дли-на	Ши-ри-на	Дли-на	Ши-ри-на	Дли-на	Ши-ри-на	Дли-на	Ши-ри-на	Дли-на	Ши-ри-на	Дли-на
10 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	45 <sup>x</sup>	45 <sup>x</sup>	80 <sup>x</sup>	80 <sup>x</sup>	100 <sup>x</sup>	200	140 <sup>x</sup>	140 <sup>x</sup>	180 <sup>x</sup>	180 <sup>x</sup>
	15		50		85		240		150		190
	20 <sup>x</sup>		60		90 <sup>x</sup>		280		160 <sup>x</sup>		200 <sup>x</sup>
	30		70		95		110		170		220
	40		75		100 <sup>x</sup>		120		180 <sup>x</sup>		240 <sup>x</sup>
15 <sup>x</sup>		80 <sup>x</sup>	80 <sup>x</sup>	110	110	140 <sup>x</sup>	120	180 <sup>x</sup>	190	260	260
	15		85		120 <sup>x</sup>		130		200 <sup>x</sup>		280 <sup>x</sup>
	20		90		130		135		220		300
	25		170		140		140		240 <sup>x</sup>		320 <sup>x</sup>
	30				150		150		260		340
20 <sup>x</sup>		50 <sup>x</sup>	50 <sup>x</sup>	85	160 <sup>x</sup>	150	160	200 <sup>x</sup>	280 <sup>x</sup>	200 <sup>x</sup>	360 <sup>x</sup>
	20 <sup>x</sup>		60 <sup>x</sup>		180		170		320		200 <sup>x</sup>
	25		75		200		180		360		220
	30 <sup>x</sup>		80 <sup>x</sup>		240		190				220
	40 <sup>x</sup>		85				200		150		240 <sup>x</sup>
	45		90 <sup>x</sup>				220		160		260
	50		95		85				170		280 <sup>x</sup>
	60		100		90				180		300
80		100		130	320 <sup>x</sup>						
30 <sup>x</sup>		60 <sup>x</sup>	60 <sup>x</sup>	90		120 <sup>x</sup>	140 <sup>x</sup>	160 <sup>x</sup>	200	220	340
	30 <sup>x</sup>		75		90 <sup>x</sup>		150		300		360 <sup>x</sup>
	40 <sup>x</sup>		80 <sup>x</sup>		95		160 <sup>x</sup>				
	45		85		100 <sup>x</sup>		170		160 <sup>x</sup>		220
	50		90 <sup>x</sup>		110		180		170		240
	60 <sup>x</sup>		95		120 <sup>x</sup>		190		180 <sup>x</sup>		260
	80		100 <sup>x</sup>		130		200 <sup>x</sup>		190		280
	90		110		140 <sup>x</sup>		220		200		300
40 <sup>x</sup>		75 <sup>x</sup>	120 <sup>x</sup>	100 <sup>x</sup>	150	130	240 <sup>x</sup>	170	220	240 <sup>x</sup>	320
	40 <sup>x</sup>		140		160 <sup>x</sup>		280		240 <sup>x</sup>		340
	45		160		170		320		260		360
	50 <sup>x</sup>		180		180 <sup>x</sup>		360		280 <sup>x</sup>		
	60								300		
	75		75		100 <sup>x</sup>		130		320 <sup>x</sup>		260
	80 <sup>x</sup>		80		110		140		360		280 <sup>x</sup>
	100		85		120 <sup>x</sup>		150				300
	120		90		130		170		170		320 <sup>x</sup>
	140		95		140 <sup>x</sup>		180		175		340
	160		100		150		190		180		360 <sup>x</sup>
			170		160 <sup>x</sup>		200		190		
					170		260		200		
		180 <sup>x</sup>		200							
		190	135	340							
				240							

<sup>x</sup> Предпочтительные размеры

Значения  $t_x, t_y, x_1, x_2, y_1, y_2, l_x, l_y$  приведены в таблицах приложения 3 (табл. ПЗ.1+ПЗ.4).

Краевое поле  $y_1$  предназначено для размещения электрического соединителя или контактных площадок для пайки проводников внутри-блочных электрических соединений. На краевом поле  $y_2$  могут устанавливаться контрольная колодка, накладка, передняя панель ячейки и др. Поэтому размеры полей  $y_1$  и  $y_2$  должны соответствовать геометрии перечисленных элементов.

По найденным размерам  $L_x, L_y$  и табл. 1.3, где приведены линейные размеры печатных плат согласно ГОСТ 23751-79, выбирают типоразмер печатной платы.

### 1.3.2. Расчет ограничений на геометрические размеры проводников коммутационных оснований

Ограничения на минимальные размеры проводников обусловлены факторами как технологического, так и электрического характера,

К факторам первой группы относятся конечная точность выполнения конфигурации проводников и минимальные технологически реализуемые их размеры, которые зависят от способа изготовления коммутационных плат. Если для полупроводниковых микросхем минимальная ширина проводников и зазор между ними могут составлять десятые доли - единицы микрометров, то для гибридно-пленочных микросхем, изготавливаемых с помощью фотолитографии, возможно получать ширину проводников и зазоры не менее 50...100 мкм, а с применением свободной маски либо толстопленочной технологии - не менее 150...200 мкм. Технологические ограничения на размеры проводников печатных плат в зависимости от класса точности приведены в табл. 1.4 [7].

Таблица 1.4

Конструктивные параметры	Класс точности			
	1	2	3	4
Минимальная ширина проводника $b$ , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Номинальный зазор между проводниками $S$ , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Допуск на расположение проводников $\delta l$ , мм	0,15	0,10	0,05	0,03
То же для МПП, мм	0,20	0,12	0,07	0,05

К факторам второй группы относятся допустимая токовая нагрузка, пробивное напряжение, допустимое сопротивление, индуктивность и емкость проводников.

Минимальная ширина проводников для цепей, по которым протекают значительные токи (питание, заземление):

$$b_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{макс}}}{j_{\text{доп}} \cdot t} \text{ мм}$$

где  $I_{\text{макс}}$  - ток протекающий по цепи (определяется из анализа электрической схемы), А ;  $j_{\text{доп}}$  - допустимая плотность тока в проводниках, обеспечивающая отсутствие их перегрева (см. табл. 1.5), А/мм<sup>2</sup>,  $t$  - толщина проводника, мм.

Таблица 1.5

Метод изготовления ПП	Толщина фольги $t$ , мкм	$j_{\text{доп}}$ А/мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^6$ Ом-м
Химический	внутренние слои МПП	15	0,05
	наружные слои МПП и ДПП	20	0,050
Комбинированный позитивный	20	75	0,0175
	35	48	0,0175
	50	38	0,0175
Электрохимический	-	25	0,050

Минимальная ширина проводников исходя из допустимого их сопротивления

$$b_{\text{мин } r} = \frac{\rho l}{t \cdot r_{\text{доп}}} \cdot 10^3 \text{ мм}$$

где  $\rho$  - удельное объемное сопротивление проводника (см. табл. 1.5), Ом·м;  $l$  и  $t$  - длина и толщина участка проводника максимальной длины.

Ограничения, связанные с паразитной емкостью и индуктивностью, рассматриваются в разд. 1.5. Как правило, они приводят к необходимости ограничивать максимальную длину отдельных линий на плате.

При малых расстояниях между проводниками даже при умеренных напряжениях в зазорах может возникать пробой. Значения допустимого рабочего напряжения ( $U_{\text{раб}}$  в зависимости от ширины зазора приведены в табл. 1.6 [10])

Таблица 1.6

Материал проводника	Значения допустимого рабочего напряжения в зависимости от ширины зазора, В						
	Минимальная ширина зазора, мм						
	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,5
Гетинакс	25	50	75	150	250	350	500
Стеклотекстолит			100	200	350	500	850

1.3.3. Особенности разработки конструкций узлов и ячеек РЭС на бескорпусных микросборках

Значительное уменьшение объема в цифровых Ш с одновременным увеличением быстродействия их работы, а следовательно, и увеличением потребляемой мощности приводит к резкому возрастанию тепловой напряженности в чих и нарушению нормального теплового режима, что вызывает отказы в работе.

Поэтому первой специфической чертой новых конструкций Ш цифрового типа является наличие в них мощных и эффективных теплоотводов. Такими теплоотводами являются металлические основания под бескорпусными МСВ, и в частности, металлические рамки (рис. 1.6). Эти рамки, как правило, выполняют из алюминиевых сплавов АМг, АМц, В95, имеющих высокие значения коэффициентов теплопроводности (160...180 Вт/(м·К).

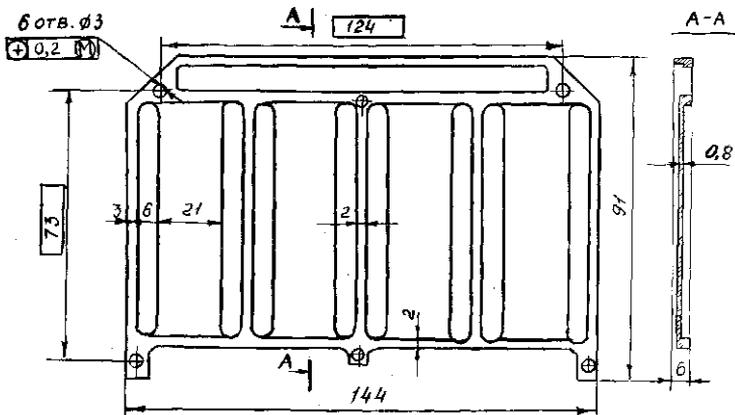


Рис. 1.6

Вторая специфическая особенность этих конструкций заключается в том, что размещаемые на металлических рамках бескорпусные МСБ (от 8 и более штук) имеют значительное количество сигнальных входов и выходов, а также шин питания и земли (от 24...30 с одной МСБ), что приводит к появлению в конструкции большого числа тонких ( $d = 30...50$  мкм) золотых проволочек - соединительных проводников, с одной стороны приваренных (припайных) к внешним контактными площадкам МСБ, а с другой - к "язычку" металлизированных отверстий печатной платы. При механических воздействиях, несмотря на небольшой прогиб этих проволочек (откуда длина проволочки  $\{l \leq 100d\}$ ), возможны отрывы в местах приварки (пайки), т.е. внезапные отказы в соединениях и сбои во всей ячейке. Кроме того, увеличение интеграции микросборок, а следовательно, и площади подложки при постоянной их толщине опять-таки создает опасность их растрескивания от ударов и вибраций. Чтобы выполнить требования защиты конструкции от механических резонансов, усталостных напряжений, линейных перегрузок, в конструкциях ячеек 1У поколения используют те же металлические рамки. Особенностью их профиля является наличие ребер жесткости и окон, а сами МСБ и печатные платы клеят к этим рамкам антивибрационными компаундами типа КТ-102 или Эластосил, чтобы уменьшить коэффициенты динамичности рамок. Справочные данные по клеям даны по ОСТ 4Г 0.029.204-78 в приложении 4. Схемы и массогабаритные характеристики аналоговых ИМС представлены на рис. П2.1+П2.12, а цифровых ИМС - на рис. П2.13+П2.35 приложения 2. Наконец, требования уменьшения массы заставляют делать эти рамки более ажурными. Вибро- и ударопрочность обеспечиваются при выполнении допустимых амплитуды колебаний элементов конструкции не более 0,3 мм и виброскорости не более 800 мм/с. Диапазон же частот вибраций широк (от 30...50 Гц до 0,5...5кГц) при возможных перегрузках до 30...40 единиц. Допустимая удельная мощность рассеивания в ФЯ может достигать величины 60 Вт/дм. Для обеспечения указанных требований необходим расчет геометрических размеров рамки с учетом многих факторов. Покажем это на примере.

**Пример.** Рассчитать геометрические размеры рамки, представленной на рис. 1.6. В рамке на ее вертикально расположенных планках размещены 8 МСБ с размерами 24x30x0.5 мм.

Из расчетов вибропрочности и теплового режима ширина  $\Delta_1$ , боковых ребер и верхнего ребра обычно составляет 3 мм, а ширина  $\Delta_2$  внутренних ребер и нижнего ребра 2 мм. Это отличие объясняется еще

и тем, что боковые и верхние ребра должны иметь буртик порядка I...I,5 мм для приклейки печатной платы по периметру ребер снизу: Ширина планки  $\Delta_3$  несколько меньше ширины МСБ и равна 21 мм. Ширина окон  $\Delta_4$ , в рамке (между ребрами и планками) выбирается из следующих размеров: расстояния от ребра и планки до "язычка" металлизированного отверстия (слева и справа) равны по 2 мм, длина "язычка" (для подпайки или приварки проволочного вывода) - 0,6 мм, диаметр окантовки металлизированного отверстия 1,2 мм, итого ширина окна  $\Delta_4 = 5,8 \approx 6$  мм. Тогда ширина рамки  $a = 2\Delta_1 + 3\Delta_2 + 4\Delta_3 + 8\Delta_4 = 2 \cdot 3 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 21 + 8 \cdot 6 = 144$  мм (рис. 1.6). Для расчета длины рамки примем, что зазоры  $l_1$  между МСБ с длиной  $l = 30$  мм на планке и между ними и горизонтальными ребрами равны 2 мм, ширина окна  $l_2$  для навесных электрорадиоэлементов и ширина зоны  $l_3$  для межъячеечного монтажа - по 10 мм, размеры ребер ФЯ ( $l_4 = 3$  мм верхнее ребро и  $l_5 = 2$  мм нижнее) уже оговорены. Тогда длина рамки  $b = l_4 + 2l + 3l_1 + l_5 + 2l_2 = 3 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 2 + 2 + 2 \cdot 10 = 91$  мм. Высота рамки  $h_p = h_{\text{МСБ}} + h_{\text{пл}} + h_{\text{пп}} + h_{\text{кл}} + h_3$ , где  $h_{\text{МСБ}} = 1$  мм - высота МСБ;  $h_{\text{пл}} = 0,8$  мм - толщина планки;  $h_{\text{пп}} = 1,5$  мм - толщина печатной платы;  $h_{\text{кл}} = 0,2$  мм - толщина клея;  $h_3 = 2,5$  мм - величина суммарного воздушного зазора. Тогда  $h_p = 1 + 0,8 + 1,5 + 0,2 + 2,5 = 6$  мм.

Специфическими особенностями конструкций III IY поколения аналогового типа, в частности, приемно-усилительных трактов (субблоков УВЧ, УПЧ, УНЧ) являются удлиненная форма субблоков, ее планарность и наличие тонкостенных экранов, как между узлами, так и самими субблоками. Это вызвано следующими факторами: при весьма малых по величине сигналах на входе УВЧ (порядка  $10^{-16}$  В) и требуемой величине на выходе УНЧ (несколько десятых долей вольта) необходимо иметь усиление всех трактов свыше 100 дБ, а только в одном УПЧ усиление 60 дБ, что трудно обеспечить на одной промежуточной частоте в малом замкнутом объеме субблока. Поэтому применяют двойное преобразование частоты, располагают каскады в линию и вводят экраны, развязывающие фильтры между ними.

Учет этих особенностей в конструкциях аналоговых ФЯ на бескорпусных микросборках приводит почти однозначно к пенальной форме субблоков.

Спецификой объемных модулей СВЧ является разработка конструкций по принципу "непрерывной микросхемы" на микрополосковых линиях, общая металлизированная поверхность обратных сторон подложек которых должна быть близка к идеальной ("непрерывность общей земли").

Весьма важными специфическими задачами при конструировании модуля являются выбор способа закрепления подложки на несущем основании и обеспечение стыковки МСБ по высоте, зазору и сопряжению по ширине микрополосковых линий, а также экранирование модуля. Микрополосковая несимметричная линия образуется между верхним проводником и обратной металлизированной поверхностью подложки. Чем выше чистота поверхности подложки (двухсторонняя полировка), тем меньше потери. Поэтому весьма желательным способом крепления подложки к несущему основанию остается пайка легкоплавкими припоями (ПОИп52, сплавы Розе и Вуда). Иногда применяют клейку электропроводящими клеями (Контактол, смазка ЭЧЭ-С), которые ухудшают условия теплопередачи мощности на корпус, но обеспечивают "общую землю" и лучшую ремонтпригодность. Существует еще и третий способ крепления - прижимы подложек к основанию фторопластовыми винтами. В любом случае поверхность контактирования подложек и корпуса должна иметь электропроводное и легкоплавкое покрытие. Такими покрытиями являются хим.Н5.М12.0-Ви9, хим.О-Ви3 и ряд гальванопокрытий с серебром и оловом. Для уменьшения паразитных отражений волн в линии в сантиметровом диапазоне волн геометрическая стыковка МСБ должна обеспечиваться с точностью  $\pm 100$  мкм, а в миллиметровом  $\pm 50$  мкм.

Для устранения паразитных связей и наводок модули экранируются крышками, которые в конструкции модуля опаиваются паяным швом (см. разд. 1.4.4). Минимальное расстояние от поверхности микрополосковых узлов до крышки-экрана должно быть не менее, чем  $5 \dots 6$  толщин подложки, обычно это расстояние  $h_3 \geq 3,5$  мм. При меньшем расстоянии экран будет уменьшать добротность микрополосковых узлов, которая и так не превышает  $40 \dots 50$ .

## 1.4. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ БЛОКОВ РЭС

### 1.4.1. Выбор компоновочной схемы блока

Под компоновочной схемой блока следует понимать взаимную ориентацию Ш и других конструктивных зон (электрической коммутации, элементов лицевой и задней панели, механических элементов, системы охлаждения и т.п.) в заданном объеме блока с учетом условий эксплуатации (см. приложение 5). Уровень механических воздействий влияет на величину зазора между ФЯ и элементами конструкции корпуса блока (учет деформации при колебаниях). Элементы электрических соединений

в блоках влияют на компоновочную схему и размеры зон внутриблочной и межблочной электрической коммутации.

Применение в качестве электрических соединителей разъемов предопределяет выбор варианта разъемной конструкции блока (рис. 1.7); ленточных проводов, кабелей, шлейфов, жгутов - книжной (рис. 1.8) и редко верной конструкций блока.

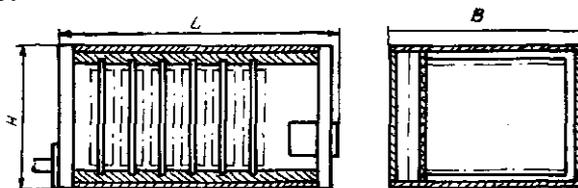


Рис. 1.7

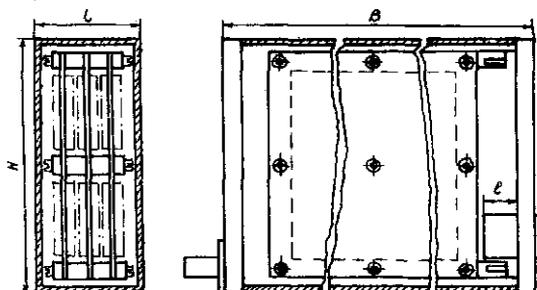


Рис. 1.8

Разъемная конструкция приводит к увеличению одной из сторон блока (за счет зоны коммутации) на 25...35 мм. В книжной конструкции жгутовые соединения, гибкие кабели и коммутационные платы увеличивают габариты корпуса блока на 15...20 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Кроме того, разъемная конструкция обеспечивает высокую ремонтпригодность на объекте установки (замена неисправной ФЯ), но ухудшает массогабаритные и надежность характеристики из-за большого числа разъемов и контактов в них. Книжная конструкция позволяет предельно уменьшить массу и габариты блока. Однако ремонт на объекте установки осуществляется за счет замены всего блока.

При охлаждении за счет естественной конвекции зазоры между ФЯ составляют 6...8 мм. Использование принудительного охлаждения поз-

волеят уменьшить зазоры до 2 мм, однако на 10...15% увеличивается объем блока за счет установки вентилятора и воздуховодов.

Полезный объем блока (рис. 1.9) можно условно представить в виде четырех объемов:  $V_1$ , (пакет ФЯ),  $V_2$  (электрические соединители и межъячеечный монтаж),  $V_3$  (под элементами лицевой панели и соединительным монтажом установочных элементов),  $V_4$  (под элементами задней панели, внешним электрическим соединителем и монтажом). Объем блока  $V_{\text{бл}}=V_1+V_2+V_3+V_4$ .

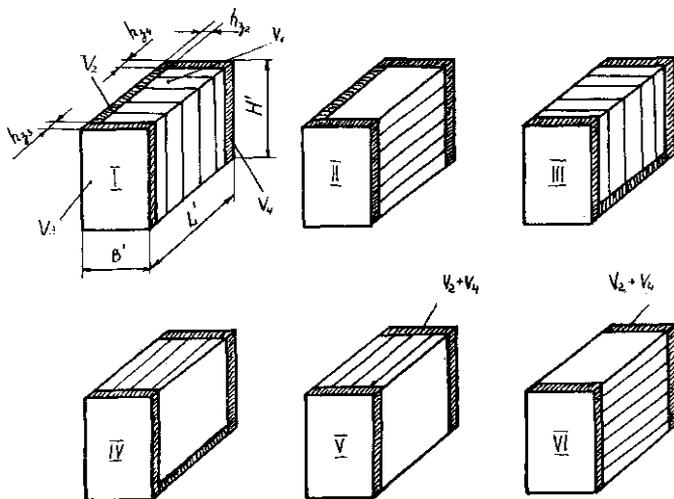


Рис. 1.9

Качество конструкции в большой степени будет зависеть от соотношения объемов  $V_1$  и  $V_2$ . Объем  $V_1$ , определяется объемом ЗН, их количеством и шагом установки Ш в блоке. Для вариантов, представленных на рис. 1.9:

$$\begin{aligned} \text{I и II} \\ V_1 &= (L' - h_{33} - h_{34}) H' (B' - h_{32}); \quad V_2 = (L' - h_{33} - h_{34}) h_{32} H'; \\ \text{III и IV} \\ V_1 &= (L' - h_{33} - h_{34}) (H' - h_{32}) B'; \quad V_2 = (L' - h_{33} - h_{34}) h_{32} B'; \\ \text{V и VI} \\ V_1 &= (L' - h_{32} - h_{33} - h_{34}) H' B'; \quad V_2 = (h_{32} + h_{34}) H' B'. \end{aligned}$$

Из представленных формул видно, что предпочтительными являются варианты У и Л и наименее рациональны варианты Г и П, так как в блоках РЭС, как правило  $L' > H'$ ,  $L' > B'$  и  $H' \geq B'$ . Отсюда получаем следующие зависимости:

$$V_1^I, II > V_1^{III, IV} > V_1^I, II; \quad V_2^I, II > V_2^{III, IV} > V_2^V, VI.$$

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

Для разъемной конструкции целесообразно использовать при естественной конвекции вариант компоновки III, а при необходимости использования принудительного охлаждения - вариант I.

#### 1.4.2. Порядок конструкторского синтеза блока

Исходными данными для решения задачи синтеза конструкции являются ориентировочное значение объема, найденное на предыдущих этапах проектирования, и результаты разбиения схемы на конструктивно-технологические единицы. Разбиение представляет собой первый шаг синтеза конструкции. Порядок последующих действий определяется требованиями ТЗ к конструкции и критериям оптимизации конструкции.

Методика оптимального синтеза конструкции РЭС на бескорпусных МСБ по критериям вибропрочности и тепловых режимов изложена в работе [4].

В настоящем разделе излагается методика оптимального синтеза конструкций РЭС на корпусных ИС с использованием БНК. Критерием оптимальности является комплексная оценка качества нескольких возможных в пределах ограничений ТЗ вариантов конструкций. При изложении методики основное внимание уделяется конструкциям книжного и разъемного типов. Однако не исключается возможность применения методики к конструкциям РЭС с иными компоновочными схемами.

Синтез конструкции блока проводится с целью определения размеров внутреннего объема блока по каждому типоразмеру печатной

платы, позволяющей разместить необходимое количество ИС, входящих в электрическую принципиальную схему ФЯ. и выбора соответствующих типоразмеров блоков из ряда БНК.

Методика расчета размеров печатной платы и определения габаритов ФЯ изложена в разд. 1.3.1. Характерная конструкция ФЯ РЭС на корпусных ИС и МСБ представлена на рис. 1.10. Приняты следующие обозначения:  $L_x$ ,  $L_y$  - размеры печатной платы по осям  $x$  и  $y$ ;  $b$  - размер ФЯ по оси  $x$  с учетом конструкции направляющих и элементов крепления в блоке;  $\Delta L_x$  - толщина печатной платы;  $H_c$  - высота электрического соединителя;  $H_3$  - высота ИС, МСБ и компонентов;  $H_m$  - высота механических конструкций (рамки, планки и т.п.) или пайки;  $H_k$  - высота элементов крепления и контроля ФЯ;  $t_y$  - шаг установки ФЯ в блоке;  $h_y$  - высота ФЯ, определяемая высотой наиболее выступающего элемента конструкции ( $H_c$  или  $H_k$ ).

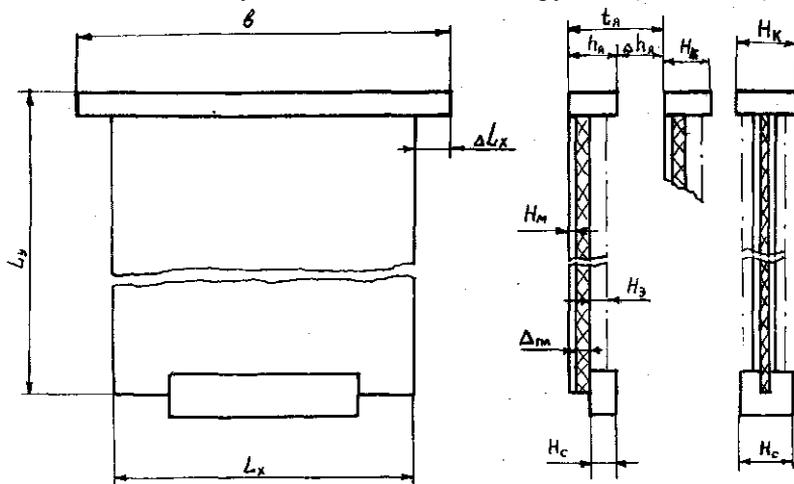


Рис. 1.10

Шаг установки ФЯ  $t_y = h_y + \Delta h_y$ , где  $\Delta h_y$  - зазор между ФЯ. Глубина пакета ФЯ в блоке  $a = t_y n_{фя}$ , где  $n_{фя}$  - количество ФЯ в блоке. Ширина  $b$  и высота  $h$  пакета ФЯ;  $b = L + 2\Delta L_x$ ;  $h = L_y$ , где

$\Delta L_x$  - размер, определяемый конструкцией элементов крепления ФЯ в блоке. Для типовых конструкций планок  $\Delta L_x = 4$  мм.

Обычно высота ИС, МСБ и компонентов  $H_3$  меньше  $H_c$  и  $H_k$ . При  $H_c > H_k$  и одностороннем размещении ИМС и МСБ высота ФЯ

$h_y = H_m + \Delta_{пл} + H_c$ . При двустороннем размещении ИМС и МСБ  $h_y = H_c$ . Геометрические размеры внутреннего объема блока определяются вариантом компоновки блока, типом внутриблочных и межблочных электрических соединителей, типом электрорадиокомпонентов, устанавливаемых на лицевой панели. Введем обозначения:  $h_{32}$  - глубина зоны межъячеечного монтажа, определяемая типом электрического соединителя;  $h_{33}$  - глубина зоны лицевой панели, определяется типом компонентов, устанавливаемых на лицевой панели, и способом электрического монтажа компонентов с ФЯ;  $h_{34}$  - глубина зоны задней панели, определяется типами межблочного электрического соединителя и элементов, устанавливаемых на задней панели. Обычно глубина зон  $h_{32}$  и  $h_{34}$  составляет 25...35 мм, а  $h_{33}$  - 30...70 мм.

Для разъемной конструкции (вариант I) (см. рис. 1.7) размеры внутреннего объема блока: ширина  $V'=h+h_{32}$ , высота  $H'=b$ , глубина  $L'=a+h_{33}+h_{34}$ ; (вариант III)  $V'=b, H'=h+h_{32}, L'=a+h_{33}+h_{34}$

Для книжной компоновки блока (вариант IV)  $V'=a, H'=h+h_{32}, L'=b+h_{33}+h_{34}$ ; вариант V  $V'=a, H'=b, L'=h+h_{33}+h_{32}+h_{34}$

На ранних этапах разработки МЭА за минимальные габаритные размеры блока для используемой БНК можно принять  $V = V' + 7...10$  мм,  $H = H' + 7...10$  мм,  $L = L' + 7...10$  мм.

По значениям  $V', H'$  и  $L'$  выбираются типоразмеры блока из ряда БНК для разрабатываемого класса аппаратуры (рис. I.I, 1.2).

Существенным этапом в синтезе конструкции блока является совмещение вторичного источника питания (ВИП) с конструкцией ФЯ и блока и целом. Конструкции блоков ВИП должны быть совместимы по каждому из трех измерений с конструкциями ФЯ, т.е. габаритные размеры блоков ВИП должны быть кратны (или равны) габаритным размерам ячеек и блоков.

Пусть ИС и МСБ собирают в ФЯ с размерами  $b \times h \times h_y$ , (рис. I.II, а) ФЯ объединяют в блоки размером  $b \times h \times a$  (рис. 1.11, б), где размер  $a = h_y \cdot n$  соответствует глубине стойки, в которую устанавливаются блоки;  $n$  - число ФЯ. В этом случае функциональные узла ВИП на малогабаритных электрорадиоэлементах (ЭРЭ) могут быть выполнены в виде ячеек, а на крупногабаритных ЭРЭ, требующих объемного конструирования - в габаритах блока  $b \times h \times a$  или его части  $b \times h \times m$ , где  $m = h_y \cdot k$ ;  $k$  - число ячеек ВИП  $k < n$ . Тогда возможна конструкция блока, в составе которого ВИП сочетается с  $(n-k)$  ФЯ (рис. I.II, в) или в габаритах кратных габаритам блока по размеру  $b(b \times h \times a)$ . При этом возможны конструктивные решения, в которых  $p < 1$  ( $p =$

= 0,25; 0,5) (рис. I.11,г); и  $p > 1$  ( $p = 2, 3, \dots$ ) (рис. I.11,д); с соблюдением условия, что размер  $br$  должен быть менее ширины блока, допустимой по ТУ.

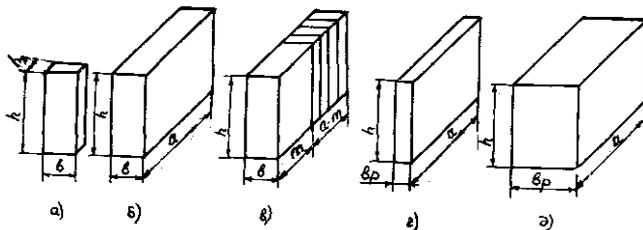


Рис. I.11

Если же ФЯ размером  $axb \times h_x$  объединяют в плоские блоки размером  $axb \times h$  (рис. I.12), то функциональные узлы ВИП на крупногабаритных элементах

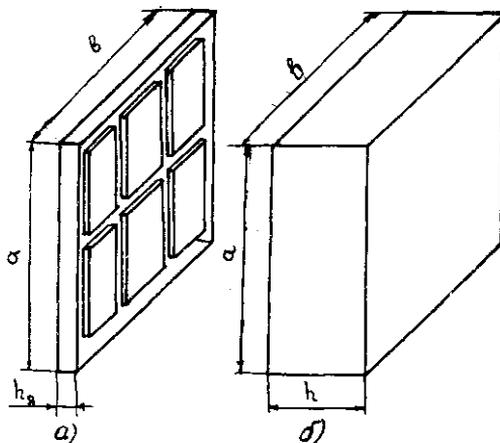


Рис. I.12

могут быть выполнены в виде блоков с габаритными размерами  $axb \times h'$ , где  $h' = h_x g$  и  $g = 2, 3, \dots$  с соблюдением условия, что размер  $h_x g$  меньше ширины блока допустимой по ТУ. Минимальные значения  $p$  и  $g$  определяют из предположения, что размеры  $br_{\min}$  и  $h_x g_{\min}$  должны быть больше минимального из размеров наиболее крупногабаритного ЭРЭ, размещаемого в ВИП, с учетом необходимых конструктивных элементов (радиаторов, креплений и т.д.).

могут быть выполнены в виде блоков с габаритными размерами  $axb \times h'$ , где  $h' = h_x g$  и  $g = 2, 3, \dots$  с соблюдением условия, что размер  $h_x g$  меньше ширины блока допустимой по ТУ. Минимальные значения  $p$  и  $g$  определяют из предположения, что размеры  $br_{\min}$  и  $h_x g_{\min}$  должны быть больше минимального из размеров наиболее крупногабаритного ЭРЭ, размещаемого в ВИП, с учетом необходимых конструктивных элементов (радиаторов, креплений и т.д.).

### 1.4.3. Особенности разработки конструкций блоков РЭС на бескорпусных микросборках

Первой особенностью разработки конструкций блоков РЭС на бескорпусных микросборках является новизна создания микроэлектронных устройств высокой интеграции.

Второй отличительной особенностью разработки конструкций подобного вида является необходимость вакуумно-плотной герметизации блоков. По этой причине стенки корпуса выполняют из алюминиевых сплавов, например из литейного АЛ9, толщиной не менее 3 мм. Все это значительно снижает выигрыши по массе по сравнению с выигрышами в объеме блоков, т.е. только в 3...4 раза по массе вместо 5...6 раз по объему. Это видно из табл. 1.7, где приведены коэффициенты дезинтеграции объема и массы микроэлектронных РЭС.

Третьей особенностью разработки подобных конструкций является тщательная проработка и расчеты тепловых режимов блоков, в частности проработка конструкции по выбору оптимальной формы блока, для которой отношение поверхности теплоотдачи к объему была бы максимально возможной [4].

Четвертой особенностью разработки конструкций блоков можно считать проблему выбора внутриблочных электрических соединений. Как правило, блоки на бескорпусных МСБ имеют книжную конструкцию, (в которой не применяются разъемные соединители и проволочно-жгутовый или печатный монтаж на жестких основаниях. Для них наиболее характерными являются гибкие шлейфы, кабели, а также матрицы-ремни.

Наконец, пятой особенностью разработки конструкций блоков 1У поколения является выбор формы и метода изготовления корпуса блока. Отметим, что одна из стенок блока (лицевая панель), на которой устанавливаются выводные межблочные соединители, трубка-штенгель, заземляющий винт, должна иметь толщину не менее 5...6 мм, в то время как остальные - 3 мм. Сам корпус, в котором устанавливается пакет ячеек (обычно на 6 бобышек цилиндрической формы), должен представлять собой короб прямоугольной формы без верхней крышки. Материал корпуса, как и Ш, должен быть легким. Поэтому выбирают чаще всего алюминиевые сплавы, легко поддающиеся механообработке и сварке. Кроме того, при применении паяного шва корпус должен иметь покрытие для пайки. Рассматривая перечисленные выше требования, можно сделать следующие рекомендации:

Таблица 1.7

Назначение МЭА, типы конструкций блока и функциональной ячейки	2V						2m				2m <sub>2</sub>	
	бескорпусная ИС-КТЕ <sup>x</sup>			ФН-Б			бескорпусная ИС-КТЕ <sup>x</sup>	КТЕ <sup>x</sup> -ФН		ФН-Б		
	2	3	4	5	6	7		8	9			
I												
Цифровая. Разъемный; односторонняя с ИС в корпусах 244.48-1	300	20,3	1,2	7310	10	5,3	1,3	69				
Цифровая. Книжный; двусторонняя с ИС в корпусах 401.14-1, двухплатная	250	6,4	1,8	2880	15	3,2	1,3	62				
Цифровая. Разъемный; двусторонняя с бескорпусными МСБ 30x48 мм	70	12,8	1,5	1344	3,3	4,3	3,4	48				
Цифровая. Книжный; двусторонняя с бескорпусными МСБ 30x45 мм на П-образной пластине	70	9	1,6	1008	3,3	5,3	2,4	42				
Цифровая. Книжный; односторонняя с бескорпусными МСБ 24x30 мм на металлической рамке	70	11	1,5	1155	3,3	7,7	3,2	81				

Окончание табл. 1.7

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Цифровая. Книжный; двухсторон- няя с бескорпусными МСБ 24х30 мм на металлической рамке	70	5,7	1,5	600	3,3	4,8	3,2	51
Цифровая. Книжный; сдвоенная с бескорпусными МСБ 24х30 мм на ме- таллических рамках	70	6,6	1,5	714	3,3	5	3,2	53
Приемоусилительная. Этежерочный; пенальная с бескорпусными МСБ 16х30 мм на металлической рамке	70	17,4	1,5	1827	3,3	11,5	3,2	120

ХЧТЕ (конструктивно-технологическая единица) - корпусная ИС (для III поколения) или бескорпусная МСБ (для IV поколения).

лицевую панель изготавливают отдельно от собственно корпуса и приваривают ее по шву в процессе сборки;

из многих марок легких алюминиевых сплавов (Д16АМ, Д16АТ, В95, АМг, АМц, АЛ9, АЛ2, АЛ3) наиболее подходящими для шовной сварки являются марки АМг, АМц, АЛ9;

корпус рекомендуют изготавливать литьем в оболочковые формы из материалов АЛ2, АЛ9, АЛ3 (сплавы алюминиевые литейные ГОСТ 2685-63) с последующей фрезеровкой поверхности, требующих более высокой частоты обработки, поскольку изготовить корпус с толщиной стенок 3 мм из листового материала (АМг, АМц, Д16, В95) методами штамповки-вытяжки при глубине вытяжки порядка 80 мм весьма затруднительно, так как это требует многократной вытяжки и пресса большой мощности; на места последующих паек (паяный шов, буртик в лицевой панели для пайки печатной вставки разъемов РПС или отверстий для высокочастотных разъемов СР50, трубка-штенгель) рекомендуется нанести покрытие хим.Н5.М12.0-Ви9 (химическое покрытие никель 5-мкм -медь 12 мкм - олово - висмут 9 мкм).

#### 1.4.4. Герметизация блоков. Расчет герметизации

Герметизация корпуса РЭС позволяет защитить изделие от влаги, морского тумана, брызг, пыли, избежать уменьшения электрической прочности воздуха при уменьшении внешнего атмосферного давления. Качество герметизации корпусов определяется выражением  $V_H = V_T \Delta p / \tau$ , где  $V_H$  - степень натекания газа, дм<sup>3</sup>·Па/с,  $V_T$  - объем газа внутри блока, дм<sup>3</sup>,  $\Delta p$  - избыточное давление внутри блока, Па,  $\tau$  - срок службы или хранения блока, с. Герметизация корпуса блока может осуществляться с помощью сварки (рис. 1.13,а,б), пайки (рис. 1.13,в) и уплотнительной прокладки (рис. 1.14). Рекомендации по выбору вида герметизации и способа выполнения уплотняющего стыка даны в табл. 1.8.

Неразъемная герметизация блока осуществляется сваркой плавлением, роликовой, электронно-лучевой, плазменной и лазерной. Демонтируемая сварка между корпусом 1 и крышкой 2 блока (рис. 1.13,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  $b_6 = 1,5 - 2$  мм (рис. 1.13,а) и  $b_6 = 3 - 4$  мм (рис. 1.13,б) можно демонтировать со-

единения механическим способом (фрезерованием) до 3-4 раз или 6-8 раз соответственно.

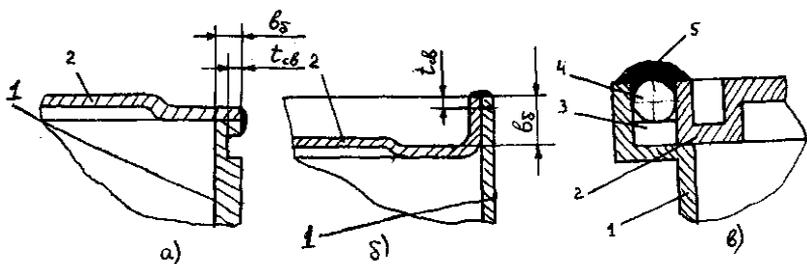


Рис. 1.13

Таблица 1.8

Объем блока, дм <sup>3</sup>	Показатели качества		
	Вид герметизации	Способ выполнения уплотняющего стыка	Степень натекания газа, дм <sup>3</sup> ·Па/с
до 0,5	неразъемная	сварка	1,33·10 <sup>-10</sup>
0,5-5	демонтируемая	сварка	
		пайка	1,33·10 <sup>-7</sup>
более 3	разъемная	уплотнительные прокладки	1,33·10 <sup>-4</sup>

К конструкции паяного соединения (рис. 1.13,в) предъявляются следующие требования: наличие тепловой канавки прямоугольного сечения, уплотнительного шнура 3 - прокладки из термостойкой резины. Ширина прокладки должна быть на 0,2-0,3 мм больше ширины зазора между крышкой и корпусом. Диаметр проволоки 4 должен быть меньше ширины зазора на 0,1-0,2 мм. Пайка 5 проводится припоем ПОС-61 с флюсом ФКСР. После пайки через откачную трубку-штенгель в блоке создают разрежение до  $1,32 \cdot 10^{-5}$  Па и блок проверяют на герметичность. Далее блок заполняют сухим азотом с точкой выпадения росы 323 К до давления 0,13 МПа. Типичные конструкции откачных трубок показаны на рис. 1.15. Конструкция, представленная на рис. 1.15,а, наиболее распространена. Трубки диаметром  $d_H = 1,3...3$  мм при объеме блока до 0,8 дм<sup>3</sup> выполняют из меди, латуни и коvara.

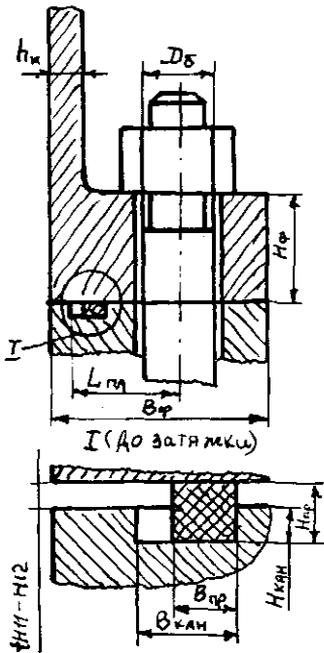


Рис. I.14

При объеме 0,8...1,5 дм<sup>3</sup> используют трубки d<sub>н</sub> = 3...6 мм (рис. 1.15,б). Конструкция с приливом стенки (рис. 1.15,в) применяется в литых корпусах. Рабочую длину трубки l выбирают в зависимости от планируемого числа циклов ремонтной разгерметизации (до 3-5 раз).

Материалы и покрытия элементов конструкции блоков, герметизируемых паяным соединением, приведены в табл. 1.9.

Максимальные размеры крышек для герметизации пайкой: длина 260 мм, ширина - 160 мм.

Для конструктивных элементов разъемной герметизации с применением металлических и эластичных прокладок (см. рис. I.14) имеются следующие расчетные формулы:  $B_{гр} = 2h_k + 2,6 D_б$ , где  $h_k$  - толщина стенки корпуса;  $D_б$  - диаметр крепежного болта.

Таблица 1.9

Материал	Покрытие по ГОСТ 9.305-84	Условия эксплуатации
АМц	H12.0-Ви(99,7)6	Легкие
АМг	H24.0-Ви(99,7)12	Средние
Д16	H24.0-Ви(99,7)12	Жесткие
В95	H24.0-Ви(99,7)12	То же
Л63	Срб.Н3.0-Ви(99,7)3	Средние
ЛС 59-1	Н3.0-Ви(99,7)6	Жесткие
Сталь Ст.10 кп	М3.0-Ви(99,7)3	Средние
Сталь Ст.20	М3.0-Ви(99,7)3	То же
ВТИ-0	Н6.М3.Ср5	Жесткие

При выборке размеров канавки учитывают следующую зависимость:

$$B_{кан} H_{кан} \approx 1,15 B_{пр} H_{пр}$$

где  $V_{\text{кан}}$  и  $H_{\text{кан}}$  - ширина и высота канавки;  $V_{\text{пр}}$  и  $H_{\text{пр}}$  - ширина и высота уплотняющей прокладки. Прокладка должна быть шириной не менее 2 мм.

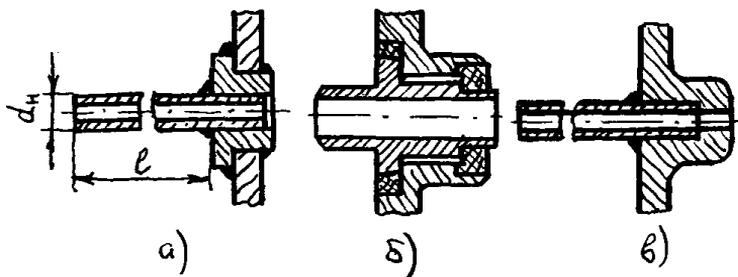


Рис. 1.15

Для вычисления размера плеча используют выражение

$$L_{\text{пл}} = 1,5h_k + 1,1D_6$$

Высота фланца  $H_f$  должна быть максимально допустимой. Предел текучести материала болтов  $\sigma_T$  в 2-3 раза выше предела текучести материала фланца. Количество болтов определяется величинами внутреннего избыточного давления в блоке и усилия, необходимого для деформации уплотнительного кольца при герметизации блока.

При разработке герметичного корпуса необходимо выбирать толщину стенки корпуса и зазоры между корпусами блока и пакетом Ш 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 внутрь корпуса.

Герметичные корпуса выполняют в форме цилиндра и параллелепипеда с квадратными или прямоугольными стенками (рис. 1.16). В цилиндрическом герметичном корпусе наибольшие напряжения возникают по контуру дна  $\sigma_{\text{кдн}} = 0,75p(D_{\text{дн}}/2S_{\text{дн}})$ , где  $p$  - внутреннее давление, МПа,  $D_{\text{дн}}$  и  $S_{\text{дн}}$  - диаметр и толщина дна, мм;  $\sigma_{\text{кдн}}$  - напряжение в МПа.

Наибольшие напряжения в герметичном прямоугольном корпусе возникают на контуре стенки (при  $a \geq b$ ):  $\sigma_{\text{кс}} = C_1 p (b/S_{\text{СТ}})^2$ , где  $C_1$  - коэффициент, зависящий от соотношения сторон (табл. 1.10) а и  $b$  - размеры стенки, мм;  $S_{\text{СТ}}$  - толщина стенки, мм.

Прогиб  $l$  (в мм) в центре контура стенки или дна  $l_{\text{кс}} = C_2 p b^4 / (ES_{\text{СТ}}^3)$ , где  $E$  - модуль упругости материала, МПа,  $C_2$  - коэффициент, зависящий от соотношения сторон (см. табл. 1.10).

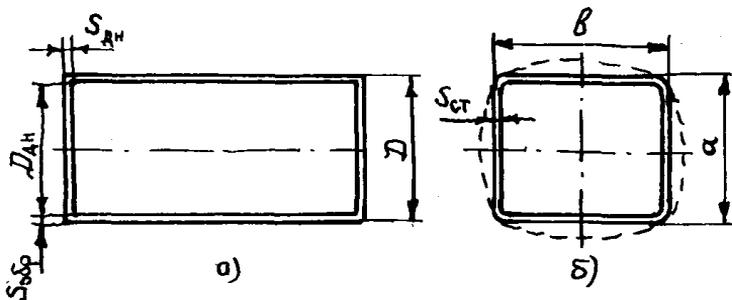


Рис. 1.16

Таблица 1.10

A/B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A/B	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
1	0,3102	0,0138	1,3	0,4008	0,021
1,1	0,3324	0,0165	1,4	0,4284	0,0227
1,2	0,3672	0,0191	1,5	0,4518	0,0241

Допускаемое напряжение при расчете стенки корпуса на прочность определяется по формуле  $[\sigma] = \sigma_{\text{пред}}/n$ , где  $\sigma_{\text{пред}}$  - предел прочности для хрупких и текучести для пластичных материалов;  $n=n_1n_2n_3$ , где  $n_1 = 1,2 \dots 1,5$  - коэффициент достоверности определения расчетных нагрузок и напряжений;  $n_2 = 1,0 \dots 1,5$  - коэффициент, учитывающий степень ответственности детали;  $n_3 = 1,2 \dots 3$  - коэффициент, учитывающий однородность механических свойств материалов.

#### 1.4.5. Выбор внутриблочных электрических соединений

Все электрические соединения в блоке разделяют на два вида: неразъемные, выполняемые сваркой, пайкой, накруткой и т.д., и разъемные, к которым относятся различные типы электрических соединителей. Для электрического соединения функциональных узлов и отдельных элементов конструкции наиболее широко используются монтажные провода, тканые и опрессованные кабели, гибкие печатные кабели (ГПК).

Марки и сечения проводов для выполнения объемного монтажа в ячейках и блоках приведены в [13]. Электрическое соединение провода и печатной платы следует осуществлять с использованием ме-

таллизованных отверстий, переходных пистонов и монтажных лепестков.

Тканые и опрессованные кабели рекомендуется использовать при объединении в единой конструкции кабеля проводников различного сечения и изоляции. Разделка и электромонтаж плоских тканых и опрессованных кабелей в печатные платы и электрические соединители проводится в соответствии с ОСТ 4Г 0.054.034. Основные конструктивные характеристики опрессованных кабелей даны в [13]. Сечение объемного провода выбирают с учетом условий эксплуатации, нагрузки по току и допустимого падения напряжения  $U_n$  по постоянному току. Диаметр сигнального провода

$$d_{min} \geq \sqrt{\frac{\rho \cdot 4 \cdot l \cdot I_n}{\pi \cdot U_n}} \text{ мм}$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление материала проводника, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $l$  - длина проводника, м;  $I_n$  - ток через проводник, А.

Полученное значение  $d_{min}$  уточняют с учетом его допустимого перегрева.

Плотность тока

$$j = \frac{4 \cdot I_n}{\pi \cdot d_{min}^2} \text{ мм}$$

По графику (рис. I.17) находят значение диаметра  $d_0$ , обеспечивающего допустимый перегрев (график построен для  $\Delta t = 293$  К). Если  $d_0 > d_{min}$  в качестве требуемого принимают значение  $d_0$ .

Гибкие печатные кабели (ГПК) изготавливают по технологии печатных плат на основе тонкого фольгированного диэлектрика. Расчет параметров печатных проводников рассмотрен в разд. 1.5.

ГПК (рис. I.18) могут оканчиваться контактными площадками (рис. I.18,а), металлизированными отверстиями (рис. I.18,б) или контактными лепестками (рис. I.18,в). Шаг расположения контактных площадок и лепестков должен быть кратен 1,25 мм. Варианты крепления ГПК и электрического соединения к контактным площадкам печатной платы представлены на рис. I.19,а - крепление переходной колодкой, на рис. I.19,б - крепление планкой, на рис. I.19,в - крепление скобой, где 1 - плата печатная; 2 - колодка; 3 - ГПК; 4 - крепежный штырь; 5 - планка; 6 - скоба; 7 - прокладка. Длину ГПК рекомендуется выбирать до 350 мм, а ширину - до 150 мм. Плоские кабели (тканые, опрессованные и ГПК) применяют

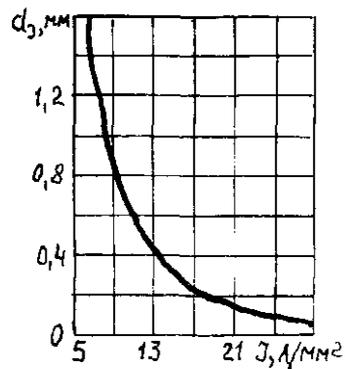


Рис. I.17

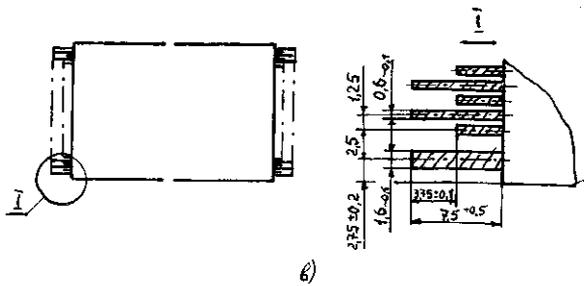
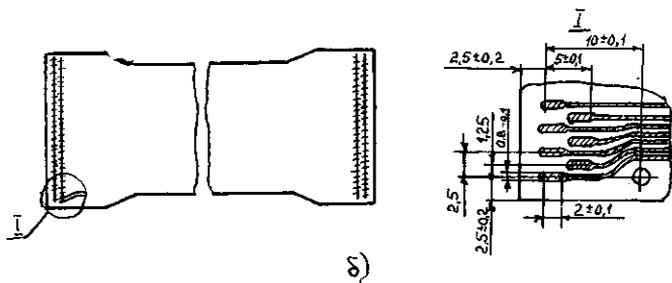
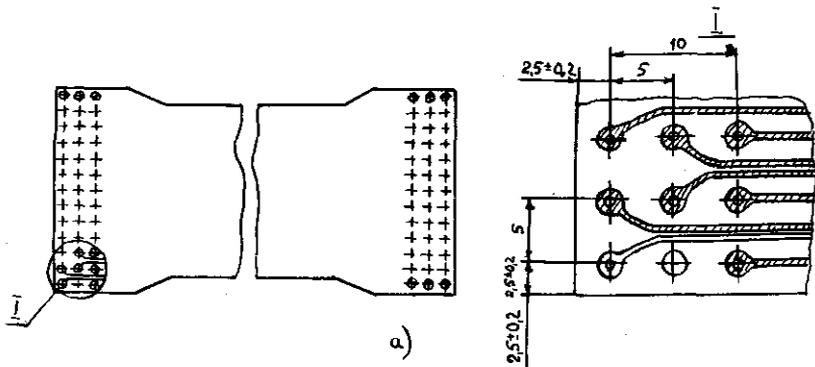


Рис. 1.18

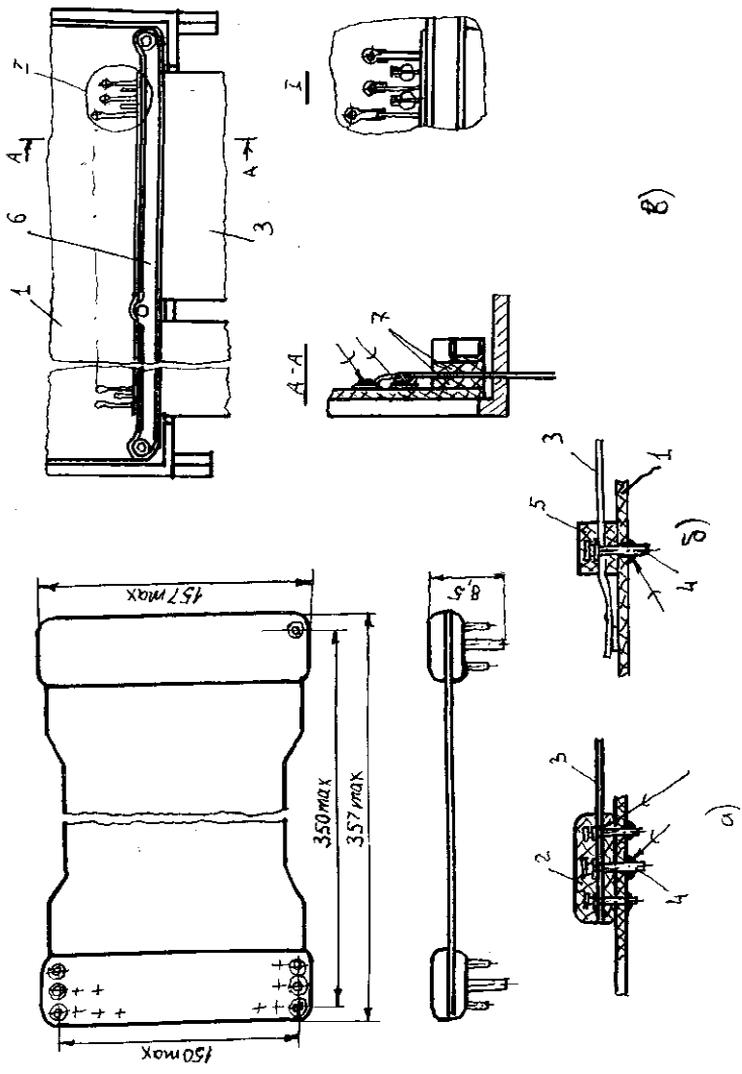


Рис. I.19

в блоках книжной конструкции для рационального использования объема, уменьшения габаритов и массы при осуществлении соединений между Ш, когда длина соединений более 40 мм. Они позволяют осуществлять монтаж в трех плоскостях за счет изгиба и скручивания.

В блоках разъемной конструкции для обеспечения высокой ремонтопригодности используются электрические соединители, устанавливаемые в Ш, кассетах и блоках. Современные миниатюрные соединители делятся на две группы: 1) для внутриблочного печатного и объемного монтажа, 2) для межблочного объемного монтажа.

При выборе типа электрического соединителя необходимо учитывать следующие основные требования: нормы электрических параметров соединителя и их предельные значения, предельные значения условий эксплуатации, надежность, габариты и масса, совместимость с элементной базой.

Для внутриблочных электрических соединений ФЯ и кассет используют разъемы типов ГРПМ1, ГРПМ2, ГРПМ9, ГРПМ5, ГРПМ7, ГРПМ8, ГРПМ10, ГРПП72, СНП34, РППМ17. В целях обеспечения межвидовой унификации аппаратуры на уровне ФЯ целесообразнее всего применять электрические соединители типов СНП34 и ГРПП62.

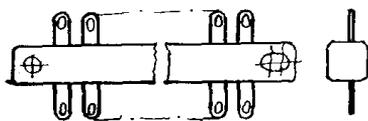


Рис. 1.20

бленки (рис. 1.20). Их рекомендуется располагать по краям печатных плат или в зоне печатного монтажа. Лепестки соединительных плат можно использовать для контроля работоспособности изделия.

Для электрических межблочных соединений используют следующие соединители: РПКМ - для самолетной аппаратуры; СНП34 - для стационарных ЭВМ; Р, РП14 - для стационарной аппаратуры. При выборе электрического соединителя следует резервировать не менее 10% выходных контактов от общего их числа.

Для обеспечения электрического соединения между ФЯ и коммутационной платой монтажными проводниками используют соединительные платы и гре-

## 1.5. РАСЧЕТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронного средства - это его способность функционировать совместно с другими техническими средствами в условиях возможного влияния непреднамеренных помех, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам. Помехи по месту возникновения разделяются на внешние (параметры электромагнитной обстановки должны оговариваться в техническом задании) и внутренние, возникающие из-за электромагнитного взаимодействия электрических цепей внутри устройства (перекрестные помехи, помехи по цепям питания). Схемотехнические меры по обеспечению ЭМС (применение схем, малочувствительных к отдельным видам помех, например, дифференциальных усилителей; применение различного рода фильтров и т.п.) в данном пособии не рассматриваются.

К конструктивным мерам обеспечения ЭМС относятся экранирование и разработка рационального электрического монтажа.

Экранирование является средством ослабления электромагнитного поля в пределах ограниченного пространства с помощью конструктивного элемента (экрана), выполненного из проводящего и (или) обладающего высокой магнитной проницаемостью материала, чаще всего металла. Экраны выполняются в виде замкнутого кожуха прямоугольной, цилиндрической или сферической формы (электромагнитные, магнитостатические и некоторые электростатические экраны), либо в виде металлической пластины, размещаемой между источником и приемником помехи (электростатические экраны). Если известны напряженности магнитного  $H_n$  и электрического  $E_n$  поля помехи и допустимые напряженности поля  $H_d$  и  $E_d$  (по условиям работоспособности узла), то требуемая эффективность экранирования определяется выражениями

$$\mathcal{E} = 20\lg(E_n/E_d) ; \mathcal{E} = 20\lg(H_n/H_d) \text{ дБ.} \quad (1.1)$$

Последовательность расчетов при анализе ЭМС в курсовом и дипломном проекте:

1) обосновать применение экранирования, сопоставив уровень помех, заданных в ТЗ или создаваемых элементами конструкции блока (трансформаторами, дросселями, сигнальными цепями), с допустимым из условий работоспособности блока уровнем помех. Рассчитать требуемую эффективность экранирования по формуле (1.1);

2) определить характер помехи (электрическая, магнитная, электромагнитная) и выбрать соответствующий тип экрана. Если расстояние до источника помехи превышает  $l \geq \lambda/2\pi$ , где  $\lambda$  - длина волны помехи, применяют электромагнитные экраны замкнутой формы (см. разд. 1.5.1). В качестве материала экрана используют металлы с высокой проводимостью (латунь, медь, алюминий). Использование для электромагнитных экранов магнитных материалов обычно не целесообразно, так как снижение эффективности экранирования из-за меньшей их проводимости не компенсируется ростом эффективности за счет увеличения магнитной проницаемости. Требуемая эффективность экрана достигается выбором достаточной толщины стенок экрана в соответствии с формулой (1.2). Для экранирования магнитного поля при  $l < \lambda/2\pi$ , т.е. на низких частотах (поля рассеяния сетевых трансформаторов, дросселей, силовых цепей) необходим экран из материала с высокой магнитной проницаемостью - железа, пермаллоя, ферритов и т.п. Требуемая эффективность экрана обеспечивается достаточной толщиной стенок экрана (см. разд. 1.5.2). Экранирование электрического поля в ближней зоне (например, внутри высокочастотного модуля) выполняется металлическими экранами незамкнутой (пластина, помещенная между источником и приемником помехи) или замкнутой (кожух) формы. Эффективность экрана в соответствии с (1.6) и (1.7) зависит от размеров, толщины и проводимости материала экрана;

3) проверить эффективность выбранной конструкции экрана по формулам разд. 1.5.1 и 1.5.2. Если необходимо, скорректировать конструкцию экрана (выбрать другой материал, размеры, толщину);

4) для анализа перекрестных помех в линиях связи и цепях питания микросхем выявить участки электрического монтажа на плате, в МСБ, где возникающие помехи и искажения сигналов могут повлиять на работоспособность узла (например, близко расположенные сигнальные проводники и т.д.);

5) по формулам табл. 1.9 и формулам (1.8)-(1.9) рассчитать паразитные параметры линий связи и цепей питания. В соответствии с разд. 1.5.3 и 1.5.4 сравнить их с рассчитанными допустимыми значениями. В случае несоответствия скорректировать конструкцию монтажных соединений (увеличить ширину проводников для уменьшения сопротивления и индуктивности, увеличить зазоры и уменьшить длину рядом расположенных участков для снижения взаимных емкости и индуктивности, установить навесные шины питания и т.д.).

### 1.5.1. Электромагнитное экранирование

Эффективность сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне определяется по формуле [7]:

$$\mathcal{E} = 20 \lg | \operatorname{ch}(kd) | + 20 \lg | 1 + 0,5(Z_B/Z_{\mathcal{E}} + Z_{\mathcal{E}}/Z_B) \operatorname{th}(kd) | \text{ дБ}, \quad (1.2)$$

где  $d$  - толщина стенки экрана, м;  $Z_B$  - характеристическое сопротивление окружающего пространства (для воздуха  $Z_B = 377 \text{ Ом}$ );  $k$  - коэффициент

распространения волны в металле;  $k = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu \mu_0 \sigma}{2}}$   $\omega$  - частота, рад/с;  $\mu_0$  и  $\sigma$  - магнитные проницаемость и проводимость материала экрана соответственно;

$Z_{\mathcal{E}} = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \mu \mu_0}{2\sigma}}$  - характеристическое сопротивление материала экрана.

При расчете экранирования в ближней зоне, когда расстояние до источника помехи сравнимо с длиной волны помехи, используют формулу (1.2), но значение  $Z_B$  зависит от преобладающей составляющей поля помехи и от формы и размеров экрана:

при экранировании электрической составляющей поля

$$Z_B^{\mathcal{E}} = \frac{1}{j\omega \epsilon \epsilon_0 r} \quad \text{Ом} \quad (1.3)$$

при экранировании магнитной составляющей поля

$$Z_B^H = -j\omega \mu \mu_0 r \quad \text{Ом} \quad (1.4)$$

Здесь под величиной  $r$ , м понимают диаметр цилиндрического экрана, радиус сферического экрана либо величину, равную  $a/\sqrt{2}$  для прямоугольного экрана ( $a$  - ширина параллелепипеда).

### 1.5.2. Электростатическое и магнитостатическое экранирование

Когда источник и приемник помех находятся в непосредственной близости друг от друга, электрическое и магнитное поля действуют независимо. Источником (и приемником) магнитной помехи может являться любой проводник, по которому протекает ток. Источником электрической помехи будет любой проводник, находящийся под переменным потенциалом.

Для защиты от магнитных помех применяют экраны из материалов с высокой магнитной проницаемостью, эффективность которых [7] рассчитывают из выражения

$$\mathcal{E}_H = 20 \cdot \lg \left[ 1 + \rho \left( 1 - \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) \cdot \left( \frac{1}{\mu} + \mu - 2 \right) \right] \text{ дБ} \quad (1.5)$$

где  $a_1$ ,  $a_2$  - внешний и внутренний размеры экрана цилиндрической, сферической или прямоугольной форм;  $p$  зависит от формы экрана:  $p = 0,25$  для цилиндрического экрана,  $p = 1$  для прямоугольного и  $p = 0,22$  для сферического.

Защита от электростатических помех осуществляется с помощью металлической пластины, помещаемой между источником и приемником помех, ее эффективность определяют по формуле

$$\mathcal{E}_E = 20 \cdot \lg \left[ \frac{5 \cdot r_3}{a^2 a_1 - a a_1^2} \right] \text{дБ} \quad (1.6)$$

где  $a$  - расстояние между источником и приемником помехи, м;  $a_1$  - расстояние между экраном и приемником помехи, м;  $r_3$  - эквивалентный радиус экрана,  $r_3 \approx \sqrt{S_3/\pi}$ ;  $S_3$  - площадь экрана. Для электростатических экранов замкнутой формы

$$\mathcal{E}_E = 20 \lg(60\pi d\sigma) \text{ дБ} \quad (1.7)$$

Электростатические экраны обязательно должны соединяться с общим проводом электрической схемы, в противном случае эффективность их резко падает.

### 1.5.3. Расчет перекрестных помех в линиях связи

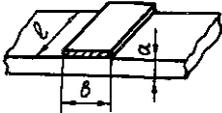
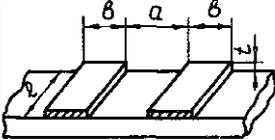
Паразитные параметры линий связи (собственная емкость и индуктивность) вызывают искажение передаваемых сигналов (для цифровых схем - увеличение длительности фронтов импульсов и дополнительная задержка сигналов). Взаимная емкость и индуктивность между электрическими цепями приводят к проникновению части сигнала из одной цепи в другую, что в аналоговых устройствах приводит к нежелательным каналам прохождения сигнала, непредусмотренным обратным связям и даже возбуждению узла, а в цифровых устройствах - к сбоям в работе. В табл. I.П приведены расчетные формулы, позволяющие с точностью 20...30% рассчитать собственные и взаимные паразитные параметры линий связи.

Приведенные формулы могут быть использованы как для синтеза, так и для анализа топологии коммутационных плат.

При синтезе топологии из условий работы принципиальной схемы - допустимой задержки сигналов в линиях связи и допустимой величины напряжения помехи  $U_{\text{п доп}}$  - определяются требования к величине паразитных реактивных параметров линий связи и в соответствии с табл. I.П к геометрическим параметрам проводников:  $L < \tau R_{\text{вх}}$  при индуктивном характере связи (рис. 1.21);

$C < \tau/R_{\text{вх}}$  при емкостном характере связи (рис. 1.22);  
 $M_{1,2} < U_{\text{п доп}} \tau_{\text{ф}}/I$  при индуктивной взаимной связи (рис. 1.23);  
 $C_{1,2} < U_{\text{п доп}} \tau_{\text{ф}}/UR_{\text{вых}}$  при емкостной взаимной связи (рис. 1.24).

Таблица 1.11

Эскиз линии связи (все размеры в м)	Емкость, взаимная емкость, пФ; индуктивность, взаимоиндукция, мкГн
	$C = \frac{\epsilon_0 (\epsilon + 1) / 2 \cdot b \cdot \ell}{a} \cdot 10^{12}$ $L = 0,4 \pi \frac{a}{b} \cdot \ell$
	$C = \frac{0,05(\epsilon + 1) \cdot \ell}{\lg \frac{2a}{b+t}}$ $L = 0,004 \ell \left( \ln \frac{a+b}{t+b} - \frac{a-b}{\ell} + 0,2235 \frac{t \cdot b}{\ell} + 1,5 \right)$ $C_{1,2} = \frac{13,9(\epsilon + 1) \ell}{\ln \left( 4 + \frac{4a}{b} \right)}$ $M_{1,2} = 2 \cdot 10^{-8} \ell \left( \ln \frac{2b}{t+b} + \frac{t \cdot b}{\ell} + 1 \right)$

После подстановки соответствующих выражений для  $L$ ,  $C$ ,  $M_{1,2}$ ,  $C_{1,2}$  получаем систему ограничений на геометрические размеры линий связи, например, ограничение на максимальные длины линий или рядом расположенных линий при фиксированных значениях ширины проводников и расстояниях между ними. Далее эти ограничения должны учитываться при разработке топологии.

При анализе уже разработанной топологии необходимо рассчитывать паразитные параметры цепей, имеющих на коммутационной плате наибольшую длину, минимальное расстояние, либо цепей, наиболее

чувствительных к перекрестным помехам (например, связь между выходом и входом усилителя). Если на плате имеется хоть одна цепь, для которой указанные выше ограничения не выполнены, необходимо внести изменения в топологию коммутационной платы.

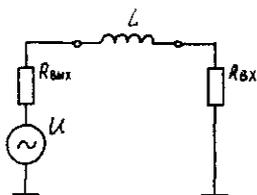


Рис. 1.21

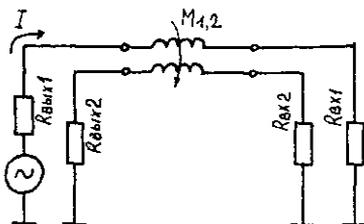


Рис. 1.23

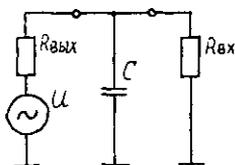


Рис. 1.22

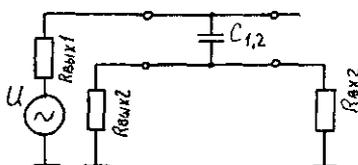


Рис. 1.24

#### 1.5.4. Расчет перекрестных помех по цепям питания

Шины питания и общего провода могут стать причиной передачи помех, если сопротивление и индуктивность их будут недостаточно малы. В худшем случае, когда все микросхемы подключены к общему проводу "по цепочке", величина статической помехи определяется падением напряжения на сопротивлении  $r$  при протекании суммарного тока потребления  $p$  микросхем (рис. 1.25):

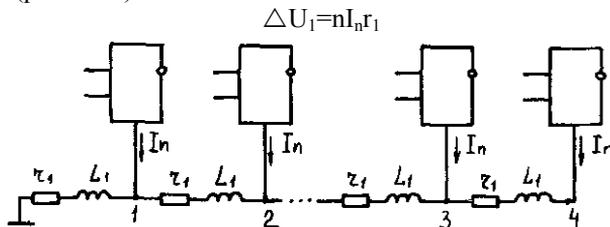


Рис. 1.25

Для последней микросхемы в цепочке (точка 4) напряжение помехи увеличивается до значения

$$U_n = \frac{n(n+1)}{2} I_n r_1$$

Отсюда вытекает требование обеспечить малое сопротивление в цепи общего провода и шины питания:

$$r_1 \leq \frac{2 \cdot U_{n \text{ доп}}}{I_n \cdot (n+1)n} \quad (1.8)$$

где  $I_n$  - ток потребления одной ИС.

В момент переключения микросхем в цепях питания протекает кратковременный импульс тока, значение которого  $\Delta I_n$  для ТТЛ-микросхем в 3...12 раз превышает статический ток потребления [5] (для КМОП-ИС равен току перезаряда емкости нагрузки элемента), а длительность приблизительно равна времени переключения логического элемента. Поэтому с учетом динамической помехи  $U_{n \text{ дин}}$  аналогично (1.8) должно выполняться условие

$$L_1 \leq \frac{\tau_\phi \cdot U_{n \text{ дин}}}{\Delta I_n \cdot (n+1)n} \quad (1.9)$$

## 2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

### 2.1. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

Расчет теплового режима производится с целью проверки обеспечения нормального теплового режима конструкции при выбранной системе охлаждения (рис. 2.1). На рисунке цифрами обозначены области охлаждения: 1 - естественно-воздушное (ЕВО); 2 - ЕВО и принудительное воздушное (ПВО); 4 - воздушное или жидкостное; 5 - жидкостное; 6 - жидкостное или испарительное; 7, 8 - жидкостное или испарительное с прокачкой; 9 - испарением жидкости с прокачкой. Поэтому расчет должен заканчиваться или определением температуры радиоэлементов (в первую очередь теплонагруженных и наименее температуростойких), или определением темпе-

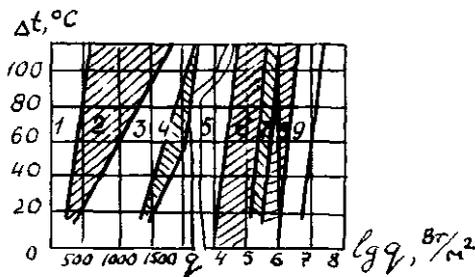


Рис. 2.1

ратуры в центре нагретой зоны в случае равномерно распределенных источников тепла. Для некоторых классов конструкций по согласованию с руководителем проекта расчет теплового режима может быть закончен определением среднеповерхностных температур корпуса и нагретой зоны и приближенной оценкой температуры в центре нагретой зоны. Расчет теплового режима производится по тепловой модели конструкции, полученной в результате анализа конструкции, выявления ее теплофизических свойств и идеализации процессов теплообмена. В зависимости от поставленной задачи тепловое моделирование выполняется методами изотермических поверхностей или однородного тела. При переходе от реальной конструкции к тепловой модели принимается ряд допущений, которые должны быть четко сформулированы и обоснованы. Воздействия факторов внешней среды на РХ представлены в приложении 5.

## 2.1.1. Тепловые модели и тепловые схемы типовых конструкций МЭА

### 1. Конструкции блоков книжного, веерного, кассетного типов.

Схематическое изображение конструкции и тепловая схема, отображающая процесс теплообмена, приведены на рис. 2.2.

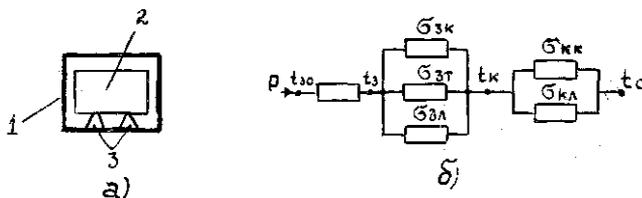


Рис. 2.2

Блок функциональных ячеек (нагретая зона) 2 размещен в корпусе I и закрепляется с помощью установочных элементов 3 (рис. 2.2,а). Поверхности корпуса и нагретой зоны приняты за изотермические с температурами  $t_k$  и  $t_3$ . Источники тепла в нагретой зоне распределены равномерно. Суммарную мощность источников тепла, обозначим  $P$ , Вт. Тепло с поверхности нагретой зоны конвекцией  $\sigma_{зк}$ , теплопроводностью через элементы крепления  $\sigma_{зт}$  и излучением (лучеиспусканием) через воздушные промежутки  $\sigma_{зл}$  передаются на корпус. Передача тепла с корпуса окружающей среде с температурой  $t_c$  осуществ-

ляется за счет конвекции  $\sigma_{\text{кк}}$  и излучения  $\sigma_{\text{кл}}$  (рис. 2.2,6). При определении конвективного и лучевого коэффициентов теплопередачи можно использовать номограммы (см. приложение П6). Температура в центре нагретой зоны зависит от эквивалентной тепловой проводимости нагретой зоны  $\sigma_{30}$ , величину которой находят в результате замены нагретой зоны конструкции моделью в виде однородного анизотропного тела.

2. Конструкции блоков планарной формы. Схематическое изображение их и тепловая схема представлены на рис. 2.3.

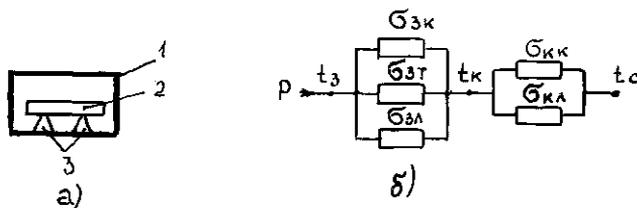


Рис. 2.3

Особенностью таких конструкций является равномерное распределение источников тепла в одной плоскости. Механизмы теплообмена и тепловая модель в целом аналогичны конструкциям с объемными структурами нагретых зон (см. рис. 2.2). Однако размещение тепловыделяющих элементов в плоскости дает возможность при оценке теплового режима ограничиться расчетом среднеповерхностной температуры нагретой зоны, которая с небольшой погрешностью может быть принята в качестве характеристики теплового режима элементов.

### 3. Конструкции аналоговой МЭА на металлических основаниях.

Типичный представитель - конструкция в корпусах типа "пенал". Упрощенное изображение конструкции приведено на рис. 2.4,а. Бескорпусные микросборки 1 размещены на металлическом основании 2, которое устанавливается в корпус 3. Характерная особенность конструкций - передача тепла от элементов микросборок к корпусу преимущественно теплопроводностью через внутреннюю тепловую проводимость элементов  $\sigma_{\text{вн}}$ , тепловую проводимость подложки  $\sigma_{\text{п}}$  и проводимость клеевого соединения подложки микросборки и основания  $\sigma_{\text{кл}}$ . Основание и корпус можно принять за изотермическую поверхность. Передача тепла с поверхности корпуса среде осуществляется конвекцией и излучением. При условии, что в пределах каждой из  $n$  микросборок отсутствует взаимное тепловое влияние между элементами,

тепловая схема может быть представлена в виде рис. 2.4,6. Значения тепловых проводимостей  $\sigma_n$ ,  $\sigma_{кл}$  рассчитывают через известные коэффициенты теплопроводности и геометрические размеры элементов конструкций. Значения внутренних тепловых проводимостей для бескорпусных ИС и транзисторов берут из справочников или находят с учетом конструкции кристалла и способа его установки на подложке.

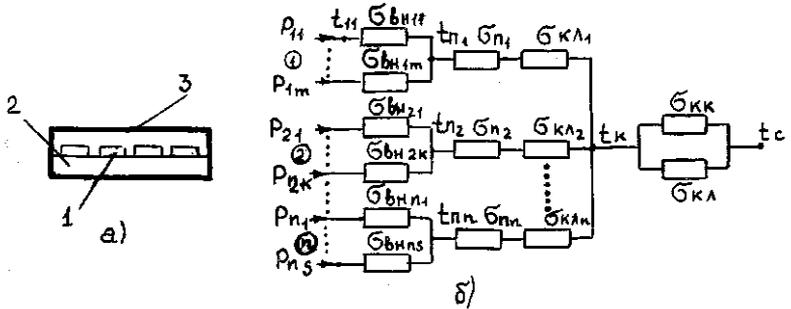


Рис. 2.4

После построения тепловой модели конструкции на основе принципа электротепловой аналогии составляют тепловую схему, рассчитывают величины тепловых сопротивлений (проводимостей) и в результате преобразования схемы находят температуры или перегревы в нужных узловых точках.

### 2.1.2. Инженерные методики расчета тепловых режимов конструкций МЭА

#### I. Методика расчета среднеповерхностной температуры корпуса по методу

#### последовательных приближений.

Исходные данные: длина  $A$ , ширина  $B$ , высота  $H$  корпуса блока,  $\epsilon_k$  - степень черноты его поверхности, максимальное значение температуры окружающей среды  $t_{Cmax}$ , мощность рассеивания в блоке  $P$ . Степень черноты поверхности определяется по табл. П1.2.

Порядок расчета:

1) задают перегрев корпуса  $\Delta t_k^I$  относительно окружающей среды, в первом приближении равный  $5...10^\circ C$ .

2) определяют температуру корпуса в первом приближении:

$$t_k^I = t_{Cmax} + \Delta \cdot t_k^I \quad (2.1)$$

3) находят среднюю температуру  $t_m^I$  между корпусом и средой в первом приближении:

$$t_m^I = 0,5(t_k^I + t_{C\max}) \quad (2.2)$$

4) рассчитывают площадь  $S_K$  поверхности корпуса:

$$S_K = 2(AB + BH + AH) \quad \text{м}^2. \quad (2.3)$$

5) находят определяющий размер  $L$  эквивалентного куба:

$$L = \sqrt[3]{\frac{S_K}{6}} \quad \text{мм} \quad (2.4)$$

6) определяют вид теплового потока от корпуса в среду по условию

$$\Delta t_k^I \leq (840/L)^3 \quad (2.5)$$

Если условие выполняется, то существует закон степени 1/4, если нет - то закон степени 1/3.

7) находят по номограммам приложения П6 коэффициент конвекции  $\alpha_k$  (рис. П6.1 - для закона 1/4, рис. П6.2 - для закона 1/3) от корпуса в среду и аналогичный коэффициент лучеиспускания (излучения)  $\alpha_k = \alpha'_{лк}/0,8$  (рис. П6.3), где  $\alpha'_{л}$  - значение этого коэффициента по номограмме.

8) рассчитывают суммарную тепловую проводимость  $\sigma_\Sigma^I$  от корпуса в среду

$$\sigma_\Sigma^I = \sigma_{кк} + \sigma_{кл} = (\alpha_k + \alpha_l)S_K \quad \text{Вт/}^0\text{С} \quad (2.6)$$

9) находят реальный перегрев корпуса  $\Delta t_{кр}^I$  в первом приближении

$$\Delta t_{кр}^I = p/\sigma_\Sigma^I$$

10) проверяют условие

$$|\Delta t_{кр}^I - \Delta t_k^I| \leq 2...3^\circ\text{С}. \quad (2.8)$$

11) если условие выполняется, то принимают перегрев корпуса  $\Delta t_k = \Delta t_{кр}^I$  если нет - то проводят расчет во втором приближении, принимая  $\Delta t_k^{II} = \Delta t_{кр}^I$  и корректируя пп.2)...10). Расчет заканчивается в том приближении, в котором условие (2.8) выполняется.

II. Методика расчета среднеповерхностной температуры корпуса по методу тепловых характеристик. Исходные данные: те же, что и в методике I.

Порядок расчета:

Пп 1)...8) - аналогично выполняются по методике I.

9) рассчитывают мощность  $P_1$ , которая может создавать заданный перегрев  $\Delta t_k^I$ .

10) строят график зависимости  $\Delta t_K$  от  $P$  по двум точкам: началу координат 0 и точке с найденными координатами  $P_1$  и  $\Delta t_K^1$ . Такая зависимость (как правило, она линейна, и поэтому строят ее лишь по двум точкам) называется тепловой характеристикой блока.

11) по заданной мощности  $P$  рассеивания в блоке и тепловой характеристике определяют искомый перегрев  $\Delta t_K$  корпуса блока и температуру его поверхности

$$\Delta t_K = t_{Cmax} + \Delta t_K \quad (2.9)$$

III. Методика расчета среднеповерхностной температуры нагретой зоны из ФЯ на печатных платах. Исходные данные: длина  $a$ , ширина  $B$  и высота  $h$  нагретой зоны, температура и перегрев корпуса  $t_K$  и  $\Delta t_K$ , найденные по методике I или II, мощность рассеивания в блоке  $P$ , длина  $A$ , ширина  $B$ , высота  $H$  и толщина стенок корпуса  $\Delta$ , степени черноты  $\varepsilon_1$  внутренних поверхностей кожуха и  $\varepsilon_2$  поверхности нагретой зоны.

Порядок расчета:

1) задают среднеповерхностную температуру нагретой зоны в первом приближении

$$t_3 = t_K + 2\Delta t_K \quad (2.10)$$

2) определяют площади внутренних поверхностей стенок корпуса и нагретой зоны

$$S'_{K'} = 2[(A-\Delta)(B-\Delta) + (B-\Delta)(H-\Delta) + (A-\Delta)(H-\Delta)] \text{ м}^2 \quad (2.11)$$

$$S_3 = 2(ab+bh+ah) \text{ м}^2,$$

3) определяют средний зазор между корпусом и нагретой зоной:

$$\delta = \frac{A + B + H - (a + b + h)}{6} \text{ м} \quad (2.12)$$

4) рассчитывают коэффициент теплопередачи в воздушном зазоре:

при  $\delta/l \leq 0,1$  и  $GrPr < 10^3$   $k_{воз} = \lambda_{воз} / \delta$ , (2.13)

при  $\delta/l > 0,1$

$$k_{воз} = 0,453 \left[ \frac{t_3^l - t_K}{\delta} \right]^{0,25} \text{ где } l = \sqrt{bh} \quad (2.14)$$

при условии, что  $a > b$  и  $a > h$ .

Критерии  $Gr$  и  $Pr$  рассчитывают по данным табл. П6.1.

5) определяют приведенную степень черноты  $\varepsilon_{np}$  между корпусом и нагретой зоной:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \left( \frac{1}{\varepsilon_1} - 1 \right) \cdot \frac{S_3}{S'_{K'}}}} \quad (2.16)$$

6) по номограмме (рис. Пб.3) определяют для двух точек  $t_k$  и  $t'_3$ , коэффициент лучеиспускания  $\alpha'_л$  и нормируют его для  $\epsilon_{пр}$

$$\alpha_л = \alpha'_л \epsilon_{пр} / 0,8 \quad (2.17)$$

7) рассчитывают тепловую проводимость от нагретой зоны к корпусу блока, принимая, что передача тепла от нагретой зоны к корпусу за счет теплопроводности  $\sigma_{зт}$  практически отсутствует:

$$\sigma_з = \sigma_{зк} + \sigma_{зл} = k_{воз} (S'_к + S_з) / 2 + \alpha_л S_з \quad (2.18)$$

8) находят, расчетное значение среднеповерхностной температуры нагретой зоны в первом приближении

$$t^I_{зп} = t_k + p / \sigma_з \quad (2.19)$$

9) проверяют условие сходимости расчетного и заданного значений:

$$|t^I_{зп} - t^I_{зп}| \leq 2 \dots 3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.20)$$

10) если условие выполняется, то принимают  $t_з = t^I_{зп}$  если нет, то повторяют расчет во втором приближении, принимая  $t^II_з = t^I_{зп}$

IV. Методика расчета среднеповерхностной температуры нагретой зоны из ФЯ на металлических рамках. Исходные данные: те же, что и в методике III, и дополнительно: шероховатости поверхностей  $Rz$  сопряжения рамки и бобышки (средние высоты их микронеровностей  $h_{ср1}$  и  $h_{ср2}$  соответственно), число  $n$  и диаметр  $d_\delta$  бобышек, диаметр  $d_B$  стягивающих винтов, диаметр  $d_{вТ}$  титановых втулок.

Порядок расчета:

1) выполняют пп. 2)...4) методики III.

2) принимают коэффициент лучеиспускания от нагретой зоны к корпусу  $\alpha_л = 7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

3) определяют среднее значение коэффициента теплопроводности  $\lambda_{ср}$  контактирующих поверхностей

$$\lambda_{ср} = 2 \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2), \quad (2.21)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - соответственно коэффициенты теплопроводности рамки и бобышки (обычно  $\lambda_1 = \lambda_2$ ).

Примечание: Контактный узел ФЯ с элементами крепления включает в себя стальной винт, титановую втулку и полый алюминиевый цилиндр бобышки, куда запрессовывают втулку с резьбой для ввинчивания винта (обычно МЗх(н + 5 мм)). Коэффициенты теплопроводности стали ( $\lambda_т = 45 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$ ), титанового сплава ВТ1-0 ( $\lambda_т = 15 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$ ) соответственно в 3,8 и 11,3 раза меньше коэффициента теплопроводности алюминия ( $\lambda_А = 170 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$ ), поэтому, как показывают расчеты,

количество тепла, передаваемое через сечения винта и втулки (по кольцу), составляет не более 3% от всей теплопередачи теплопроводностью и им можно пренебречь.

4) по выбранной шероховатости поверхности  $Rz = h_{cp1} + h_{cp2}$  определяют среднюю высоту микронеровностей, где  $h_{cp1,2}$  - высоты микронеровности обоих сопрягаемых поверхностей, относительную нагрузку  $P/E = 5 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-4}$  при  $E > 10^{10}$  Па контактных поверхностей, коэффициент  $B$ , характеризующий геометрию поверхности и коэффициент  $k_h$ , оценивающий заполнение профиля поверхности. Величина  $h_{cp1}$  равна цифре, стоящей на чертеже рядом с  $Rz$  и переведенной в метры. Так, для  $Rz20$   $h_{cp} \approx 20 \cdot 10^{-6}$  м. Величина  $B$  зависит от  $Rz$  и определяется по табл. П6.2. Коэффициент профиля обычно берут равным  $k_h = 0,55$ .

5) рассчитывают удельные тепловые проводимости  $\sigma_{удм}$  точек фактического контакта и  $\sigma_{удс}$  межконтактной среды:

$$\sigma_{удм} = [2,12 \lambda_{ср} (B \cdot P/E)^{0,87}] \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (2.22)$$

$$\sigma_{удс} = \lambda_{воз} / 2 k_{cp} k_h = 0,91 \lambda_{воз} / k_{cp} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (2.23)$$

где  $\lambda_{воз}$  - коэффициент теплопроводности межконтактной среды (воздуха).

6) рассчитывают суммарную площадь теплопередачи кондукцией:

$$S_{\pi} = \frac{\pi}{4} r_c (d_f^2 - d_{g\pi}^2) \text{ м}^2. \quad (2.24)$$

7) рассчитывают тепловую проводимость  $\sigma_{\pi}$  между нагретой зоной и корпусом:

$$\sigma_{\pi} = (\sigma_{удм} + \sigma_{удс}) S_{\pi} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}). \quad (2.25)$$

8) находят суммарную тепловую проводимость от корпуса в среду:

$$\sigma_g = k_{воз} \frac{\delta_k + \delta_g}{2} + \alpha_1 S_g + \sigma_{\pi}. \quad (2.26)$$

Примечание: Как показывают расчеты реальных конструкций блоков, доля конвективного вида передачи составляет около 2%, доля передачи тепла за счет излучения - около 5%, поэтому в ряде случаев для оценочных расчетов первыми двумя составляющими выражения (2.26) можно пренебречь.

9) рассчитывают среднюю температуру нагретой зоны

$$t_g = t_k + P / \sigma_g. \quad (2.27)$$

V. Методика расчета температуры в центре нагретой зоны из ФЯ на печатных платах. Поскольку при ранее проводимых компоновочных расчетах расположение микросхем на печатных платах проводилось в плане в плоскости  $xOy$ , а в реальных конструкциях размещение самих плат в нагретой зоне чаще всего принимается вертикальным, то примем в дальнейшем, что вертикальной осью нагретой зоны в блоке МЭА третьего поколения будет ось  $X$  (рис. 2.5). Исходные данные: длина  $a$  ширина  $b$  и высота  $h$  нагретой зоны, средне-поверхностная температура  $t_3$  нагретой зоны, найденная по методике III, мощность рассеивания в блоке  $P$ , количество ИС  $n$  по оси  $x$ ,  $m$  по оси  $y$ , размеры корпусов ИС  $l_x$  по оси  $X$ ,  $l_y$  по оси  $y$  их высота  $h_k$  и толщина стенок  $\Delta_k$ , толщина печатной платы  $\Delta_{пл}$  и фольги  $\Delta_{ф}$ , диаметр отверстий  $d_{отв}$  под выводы ИС в печатной плате, количество выводов  $n_{выв}$  от корпуса микросхемы, их диаметр  $d_{выв}$  (для штыревых), длина  $l_{выв}$ , ширина  $b_{выв}$  и толщина  $\Delta_{выв}$  (для планарных), высота установки  $h_{выв}$  микросхемы над печатной платой, количество плат  $k$ . При этом коэффициенты теплопроводности материалов плат  $\lambda_{пл}$ , выводов  $\lambda_{выв}$ , припоя  $\lambda_{пр}$ , фольги  $\lambda_{ф}$  корпусов ИС  $\lambda_k$  и воздуха  $\lambda_{воз}$  считаются известными.

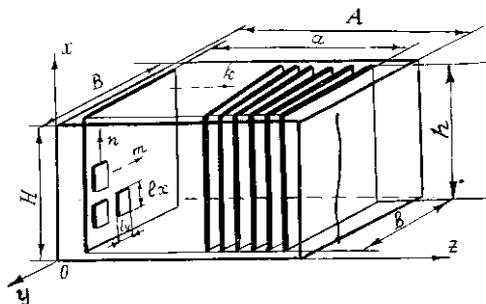


Рис. 2.5

Порядок расчета:

I) составляются тепловые схемы нагретой зоны по осям  $x, y, z$  с учетом типа корпуса ИС (рис. 2.6 для I, II, III типов корпуса, рис. 2.7 - для IV типа). Осям  $x, y$  и  $z$  соответствуют схемы рис. 2.6, а, б и в. Аналогичное соответствие на рис. 2.7, а, б и в.

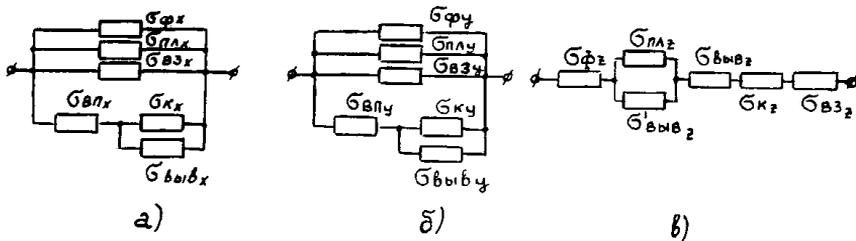


Рис. 2.6

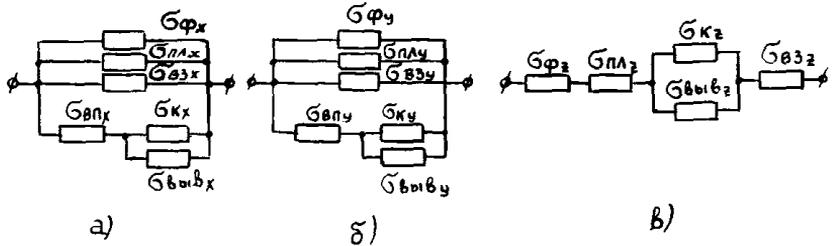


Рис. 2.7

2) рассчитывают тепловые проводимости всех печатных плат по осям x, y, z:

$$G_{ПЛx} = k \Delta_{ПЛ} b \Delta_{ПЛ} / t, G_{ПЛy} = k \Delta_{ПЛ} t \Delta_{ПЛ} / b; G_{ПЛz} = \Delta_{ПЛ} b t / k \Delta_{ПЛ}. \quad (2.28)$$

3) рассчитывают тепловые проводимости всех воздушных зазоров по осям координат

$$\begin{aligned} G_{Вz} &= \lambda_{воз} (ab - k \Delta_{ПЛ} b - k m l_y t_k) / t; \\ G_{Вy} &= \lambda_{воз} (a t - k \Delta_{ПЛ} t - k n l_x t_k) / b; \\ G_{Вx} &= \lambda_{воз} b t / [a - k (\Delta_{ПЛ} + t_k)]. \end{aligned} \quad (2.29)$$

4) рассчитывают тепловые проводимости всех корпусов ИС по осям координат

$$\begin{aligned} G_{Кx} &= 2 \lambda_{К} k m \Delta_{К} (l_y + t_k) / t l_x; \\ G_{Кy} &= 2 \lambda_{К} k n \Delta_{К} (l_x + t_k) / m l_y; \\ G_{Кz} &= 2 \lambda_{К} m n \Delta_{К} (l_x + l_y) / k t_k. \end{aligned} \quad (2.30)$$

5) рассчитывают тепловые проводимости всех воздушных промежутков между корпусами ИС по осям x и y:

$$G_{ВНx} = \frac{\lambda_{воз} l_y t_k m k}{t - l_x t}, \quad G_{ВНy} = \frac{\lambda_{воз} l_x t_k n k}{t - l_y m}. \quad (2.31)$$

6) рассчитывают тепловые проводимости всех выводов ИС по осям координат:

для штыревых выводов

$$G_{ВЫВx} = \frac{4 \lambda_{ВЫВ} t_{ВЫВ} m k}{\pi d_{ВЫВ} t}; \quad G_{ВЫВy} = \frac{\lambda_{ВЫВ} t_{ВЫВ} k m n_{ВЫВ} \cdot 5}{4 \pi t}; \quad G_{ВЫВz} = \frac{0,785 \lambda_{ВЫВ} m n_{ВЫВ} d_{ВЫВ}^2}{k t_{ВЫВ}}. \quad (2.32)$$

для планарных выводов

$$\sigma_{\text{выв}x} = \frac{4\lambda_{\text{выв}x} \Delta_{\text{выв}x} m k}{b_{\text{выв}x} r_{\text{выв}x} r_z}, \quad \sigma_{\text{выв}y} = \frac{\lambda_{\text{выв}y} b_{\text{выв}y} \Delta_{\text{выв}y} k r_z r_{\text{выв}y}}{4 l_{\text{выв}y} m}, \quad \sigma_{\text{выв}z} = \frac{\lambda_{\text{выв}z} l_{\text{выв}z} b_{\text{выв}z} m r_z r_{\text{выв}z}}{\Delta_{\text{выв}z} k} \quad (2.33)$$

7) рассчитывают тепловые проводимости выводов и припоя в металлизированных отверстиях (для штыревых выводов)

$$\sigma'_{\text{выв}z} = 0,785 \frac{m r_z r_{\text{выв}z}}{k \Delta_{\text{выв}z}} [\lambda_{\text{выв}z} d_{\text{выв}z}^2 + \lambda_{\text{пр}} (d_{\text{отв}}^2 - d_{\text{выв}z}^2)]. \quad (2.34)$$

8) находят тепловые проводимости медных ( $\lambda_{\text{Ф}} = 385 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ ) печатных проводников из фольги, считая, что они занимают по каждой из оси по 1/3 площади печатной платы:

$$\sigma_{\text{Ф}x} = \frac{k}{3l} \lambda_{\text{Ф}} b \Delta_{\text{Ф}}, \quad \sigma_{\text{Ф}y} = \frac{k}{3b} \lambda_{\text{Ф}} l \Delta_{\text{Ф}}, \quad \sigma_{\text{Ф}z} = \frac{k}{3\Delta_{\text{Ф}}} \lambda_{\text{Ф}} b l. \quad (2.35)$$

9) находят тепловые проводимости нагретой зоны для рис. 2.6:

$$\sigma_{\text{з}x} = \sigma_{\text{пл}x} + \sigma_{\text{ф}x} + \sigma_{\text{Ф}x} + \frac{\sigma_{\text{пл}x} (\sigma_{\text{к}x} + \sigma_{\text{выв}x})}{\sigma_{\text{пл}x} + \sigma_{\text{к}x} + \sigma_{\text{выв}x}},$$

$$\sigma_{\text{з}y} = \sigma_{\text{пл}y} + \sigma_{\text{ф}y} + \sigma_{\text{Ф}y} + \frac{\sigma_{\text{пл}y} (\sigma_{\text{к}y} + \sigma_{\text{выв}y})}{\sigma_{\text{пл}y} + \sigma_{\text{к}y} + \sigma_{\text{выв}y}},$$

$$\sigma_{\text{з}z} = \frac{1}{R_{\text{з}z}}, \quad (2.36)$$

$$\text{где } R_{\text{з}z} = \frac{1}{\sigma_{\text{пл}z} + \sigma_{\text{выв}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{выв}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{к}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{ф}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{Ф}z}},$$

для рис. 2.7:

$$\sigma_{\text{з}x} = \sigma_{\text{пл}x} + \sigma_{\text{ф}x} + \sigma_{\text{Ф}x} + \frac{\sigma_{\text{пл}x} (\sigma_{\text{к}x} + \sigma_{\text{выв}x})}{\sigma_{\text{пл}x} + \sigma_{\text{к}x} + \sigma_{\text{выв}x}},$$

$$\sigma_{\text{з}y} = \sigma_{\text{пл}y} + \sigma_{\text{ф}y} + \sigma_{\text{Ф}y} + \frac{\sigma_{\text{к}y} (\sigma_{\text{пл}y} + \sigma_{\text{выв}y})}{\sigma_{\text{к}y} + \sigma_{\text{пл}y} + \sigma_{\text{выв}y}},$$

$$\sigma_{\text{з}z} = \frac{1}{R_{\text{з}z}}, \quad (2.37)$$

$$\text{где } R_{\text{з}z} = \frac{1}{\sigma_{\text{к}z} + \sigma_{\text{выв}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{пл}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{ф}z}} + \frac{1}{\sigma_{\text{Ф}z}}.$$

10) определяют эквивалентные коэффициенты теплопроводности нагретой зоны:

$$\lambda_x = \frac{\sigma_{yx} h}{ab}; \quad \lambda_y = \frac{\sigma_{xy} b}{ah}; \quad \lambda_z = \frac{\sigma_{zx} a}{bh}. \quad (2.38)$$

11) принимают  $\lambda_z = \lambda_0 = \text{const}$  для однородного изотропного тела с нормированными относительно  $h = h_0$  размерами

$$a_0 = a\sqrt{\lambda_0/\lambda_x}; \quad b_0 = b\sqrt{\lambda_0/\lambda_y}. \quad (2.39)$$

12) по графику рис. П6.4 в зависимости от отношений  $h_0/a_0$  и  $h_0/b_0$  (меньших единицы) определяют коэффициент формы  $S$  нагретой зоны.

Примечание: если оба или одно из указанных отношений больше 1, то надо принимать за  $\lambda_0$  либо  $\lambda_x$  либо  $\lambda_y$  так, чтобы они (отношения  $a_0/b_0$  и  $a_0/h_0$  либо  $b_0/a_0$  и  $b_0/h_0$ ) были меньше 1.

13) рассчитывают температуру в центре нагретой зоны:

$$t_0 = t_g + Ct_0 P / 4\lambda_0 a_0 b_0. \quad (2.40)$$

VI. Методика расчета температуры в центре нагретой зоны из ФЯ на металлических рамках. В данной конструкции тепловые схемы нагретой зоны по координатным осям включают тепловые проводимости печатной платы, ребер и планок рамки, подложки, внутренних сопротивлений кристаллов и многочисленных воздушных каналов между ними. Однако наибольшей долей (более 96%) теплового потока обладают ребра жесткости (боковые по оси  $x$ , верхнее и нижнее - по оси  $y$  и верхнее с боковыми по площади контакта соседних ячеек по оси  $z$ ). Это и учитывается в дальнейшем.

Исходные данные: длина  $a$ , ширина  $b$  и высота  $h$  нагретой зоны, ее среднеповерхностная температура  $t_s$ , найденная по методике IV, мощность рассеивания в блоке  $P$ , геометрические размеры рамки (высота ячейки  $h_p = h/k$  где  $k$  - число ячеек, ширина верхнего и боковых ребер  $\Delta_1$ , ширина нижнего ребра  $\Delta_2$ , ширина контактной окантовки по оси  $Z$  соседних рамок  $\Delta_k$ ), толщина печатной платы  $\Delta_{пл}$ , диаметр  $d_v$  и количество  $n_v$  стягивающих винтов. Величины коэффициентов теплопроводности алюминиевых сплавов  $\lambda_a$  и стали  $\lambda_{ст}$  считаются известными.

Порядок расчета:

1) находят тепловые проводимости ячейки по координатным осям

$$\sigma_{yx} = \frac{2\lambda_a \Delta_1 h_p}{b}; \quad \sigma_{xy} = \frac{\lambda_a [\Delta_1 h_p + \Delta_2 (h_p - \Delta_{пл})]}{a}, \quad (2.41)$$

$$\sigma_{zx} = \frac{\lambda_a (2b+a)\Delta_k + 0,785\lambda_{ст} d_v^2 n_v}{h_p}. \quad (2.41)$$

2) определяют тепловые проводимости нагретой зоны

$$\sigma_{yx} = k\sigma_{yx}, \quad \sigma_{yy} = k\sigma_{yy}, \quad \sigma_{yz} = \sigma_{yz} / k. \quad (2.42)$$

3) далее выполняют пп. 10)...13) по методике V.

## 2.2. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В процессе изготовления, транспортировки и эксплуатации РЭС подвергаются различным механическим воздействиям: линейным ускорениям, вибрации (периодическим знакопеременным нагрузкам) и ударам (непериодическим, кратковременным нагрузкам). Нагрузки могут быть направленными вдоль одной оси (линейные ускорения вдоль продольной оси при разгоне ракеты) либо действовать по всем трем взаимно перпендикулярным направлениям (наиболее общий случай).

Аппаратура считается вибропрочной, если она сохраняет работоспособность после воздействия механических нагрузок (например, после транспортировки к месту эксплуатации каким-либо видом транспорта, после выведения спутника на орбиту и т.д.). Аппаратура считается виброустойчивой, если она сохраняет работоспособность во время действия механических нагрузок (например, во время движения). Для виброустойчивой (вибропрочной) аппаратуры при любых оговоренных в техническом задании внешних механических воздействиях должны выполняться следующие условия:

1. Если аппаратура установлена на амортизаторах, то нагрузка на каждый амортизатор не превышает допустимую для данного типа амортизатора, и деформация амортизаторов во всем частотном диапазоне не превышает допустимый прогиб (см. приложение 7).

2. Усилия, возникающие в элементах крепления вследствие воздействия собственного веса блока или закрепленных элементов конструкции  $m_g$ , линейного ускорения  $m_a$  и вибрационных ускорений (виброперегрузки)  $m_i$ , не превышают величину, определяемую пределом прочности (пределом усталостной прочности при знакопеременных воздействиях) элементов крепления.

3. Прогибы печатных плат при вибрации не превышают допустимый прогиб, определяемый следующим образом [8]:

$$s_{доп} = \delta_{доп} l^2 \text{ мм}, \quad (2.43)$$

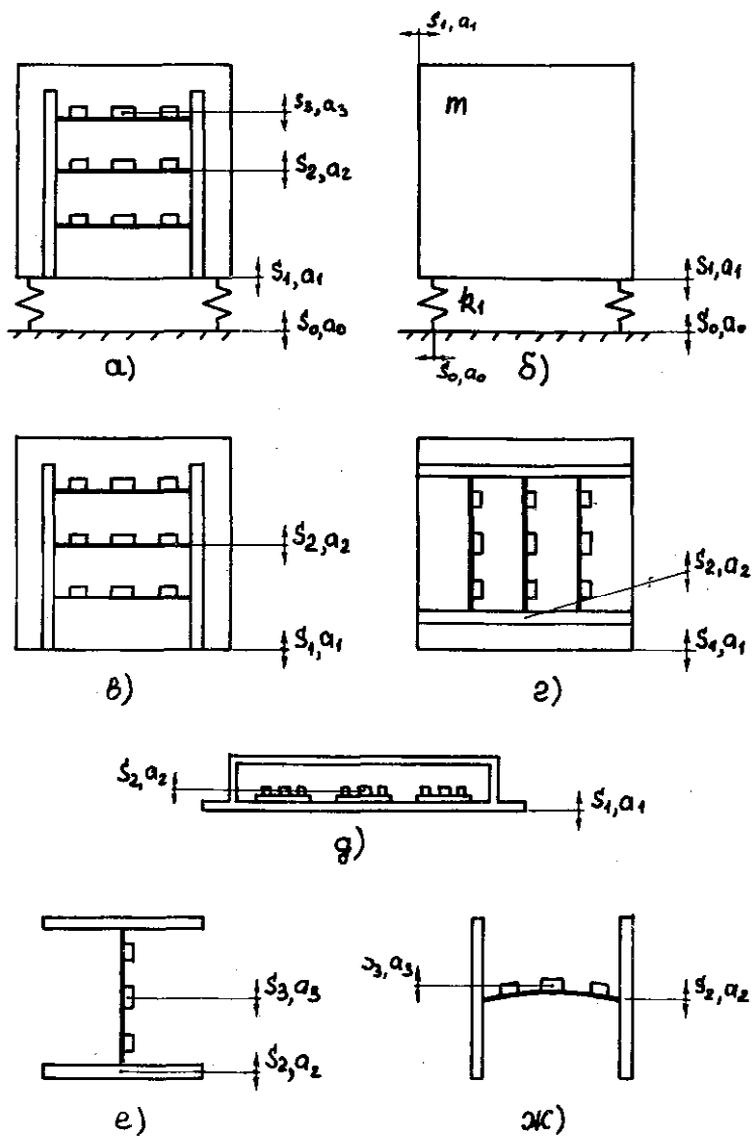


Рис. 2.8

где  $l$  - размер меньшей стороны платы, м;  $\delta_{\text{доп}}$  - допустимая стрела прогиба материала платы на длине 1 м, определяемая по табл.2.1.

Таблица 2.1

Толщина листа, мм	Допустимая стрела прогиба на 1 м длины, мм			
	одностороннее фольгирование		двухстороннее фольгирование	
	гетинакс	стеклотекстолит	гетинакс	стеклотекстолит
0,8; 1,0	109	109	55	22
1,5	55	30	27	11
2,0	40	25	20	11
2,5; 3,0	30	15	15	11

4. Виброперегрузка и амплитуда колебаний электрорадиоэлементов не превышает значений, оговоренных в технических условиях на эти ЭРЭ.

5. При использовании микросборок с установленными на них бескорпусными компонентами амплитуда колебаний и виброскорость МСБ не должна превышать 0,3 мм и 800 мм/с соответственно.

Механические воздействия передаются от объекта установки через амортизаторы или элементы жесткого крепления корпусу блока (рис. 2.8,а), далее через элементы внутриблочной несущей конструкции (например, каркас) к точкам крепления ячеек, далее через несущее основание ячейки (печатную плату, металлическую рамку и т.д.) к местам крепления электрорадиоэлементов и микросборок. Вследствие значительной разницы массы и частоты собственных колебаний отдельных элементов конструкции блока приближенно можно считать, что передача колебаний на каждом из упомянутых участков описывается моделью колебательной системы с одной степенью свободы (рис. 2.9).

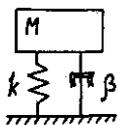


Рис. 2.9

В том случае, когда блок установлен на амортизаторах (рис. 2.8,б) должны быть выполнены условия рациональной установки амортизаторов:

$$\begin{aligned} \sum P_i = G; \quad \sum P_i x_i = 0; \quad \sum P_i y_i = 0; \quad \sum P_i z_i = 0; \\ \sum P_i x_i y_i = 0; \quad \sum P_i x_i z_i = 0; \quad \sum P_i y_i z_i = 0, \end{aligned} \quad (2.44)$$

где  $G=mg$  - вес блока;  $P_i$  - нагрузка, приходящаяся на  $i$ -ый амортизатор (реакция амортизатора);  $x_i, y_i, z_i$  - координаты  $i$ -го

амортизатора (начало координат выбирается произвольно, но часто удобно принять за начало отсчета центр масс блока).

Амплитуда колебаний блока, установленного на амортизаторах, для любой частоты внешнего гармонического вибрационного воздействия определяется из решения дифференциального уравнения колебательной системы с одной степенью свободы (рис. 2.9):

$$\frac{|S_1|}{|S_0|} = \frac{|a_1|}{|a_0|} = \eta = \sqrt{\frac{1 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}}, \quad (2.45)$$

где  $S_0$ ,  $S_1$  - амплитуды колебаний объекта установки и корпуса блока;  $a_0$ ,  $a_1$  - вибрационные ускорения объекта установки и корпуса блока;  $n$  - коэффициент передачи;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum k_i}{m}} \quad \text{- собственная частота колебаний блока на амортизаторах, Гц; } \sum k_i \text{ - суммарная жесткость системы амортизаторов вдоль оси, параллельной направлению колебаний, Н/м (см. приложение 7); } \delta_0 \text{ - коэффициент демпфирования амортизаторов.}$$

Поскольку упругий элемент амортизатора испытывает деформацию, что может привести к отказу, необходимо знать амплитуду этой деформации (прогиба):

$$\frac{|S_1 - S_0|}{|S_0|} = \eta^* = \frac{(f/f_0)^2}{\sqrt{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}} \quad (2.46)$$

Амплитуда деформации на любой частоте не должна превышать величину допустимого прогиба для конкретного типа амортизатора (приложение 7). Графики зависимостей  $\eta$  и  $\eta^*$  от относительной частоты  $f/f_0$  приведены на рис. 2.10 и 2.11. Наибольшая амплитуда колебаний блока и амплитуда деформации упругого элемента при постоянной амплитуде колебаний объекта установки наблюдается на частоте, близкой к частоте собственных колебаний (явление резонанса). Поэтому проверку допустимой величины амплитуды колебаний и виброускорений (виброперегрузок) следует проводить на частоте резонанса, если она попадает в диапазон частот внешних вибраций, а также на крайних верхней и нижней частотах внешних вибраций.

Поскольку механические колебания объекта установки могут происходить в любом из направлений (если иное не оговорено в техническом задании), а у амортизаторов продольная и поперечная жестко-

сти, как правило, не совпадают (приложение 7, величины  $k_x$  и  $R_z$ ), а следовательно, не совпадают частоты собственных колебаний вдоль разных осей, проверку вибропрочности (виброустойчивости) необходимо в общем случае производить вдоль каждой оси отдельно.

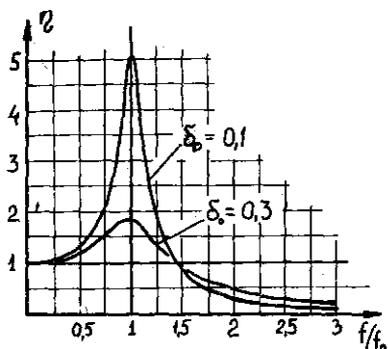


Рис. 2.10

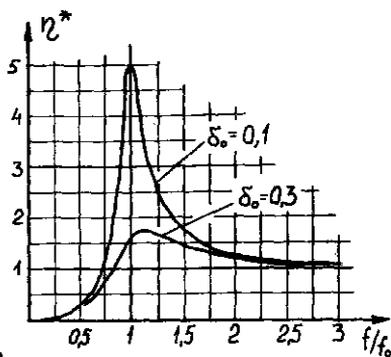


Рис. 2.11

В случае жесткого закрепления блока или микроблока на объекте его колебания передаются корпусу блока без изменений:

$$S_1 = S_0; a_1 = a_0.$$

Различные варианты передачи вибрации от корпуса блока к точкам крепления ячеек представлены на рис. 2.8, в-ж.

Если колебания корпуса (в данном примере вдоль вертикальной оси) передаются вдоль ребер или стенок каркаса (рис. 2.8, в), то ввиду значительной продольной жесткости несущих элементов каркаса можно считать, что колебания к точкам крепления ячеек передаются без изменений;  $S_2 = S_1; a_2 = a_1$

Если вибрация передается перпендикулярно ребрам каркаса (рис. 2.8, г), то для такой конструкции применима модель в виде балки, нагруженной по длине сосредоточенными массами ячеек  $m_i$  (рис. 2.12, а, б). Колебания такой системы также описываются моделью с одной степенью свободы (см. рис. 2.9), а значения коэффициентов передачи

$$\eta = \frac{|S_2|}{|S_1|} = \frac{|a_2|}{|a_1|} \quad \text{и} \quad \eta^* = \frac{|S_2 - S_1|}{|S_1|} \quad \text{вычисляются по форму-}$$

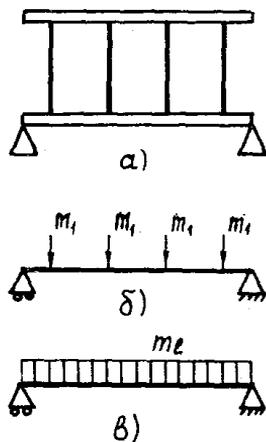


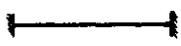
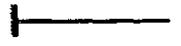
Рис. 2.12

лам (2.45) и (2.46). Частота собственных колебаний определяется из выражения

$$f_0 = \frac{\varphi}{a^2} \sqrt{\frac{EI}{m_1}} \quad \Gamma_4, \quad (2.47)$$

где  $E$  - модуль упругости материала балки,  $\text{Н/м}^2$ ;  $I$  - момент инерции сечения балки,  $\text{м}^4$ ;  $m_1$  - распределенная масса балки,  $\text{кг/м}$  (рис. 2.12,в);  $a$  - длина балки (расстояние между опорами),  $\text{м}$ ;  $\varphi$  - коэффициент, зависящий от способа закрепления концов балки (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Способ закрепления	Коэффициенты частоты $\varphi$			
	Номер гармоники			
	1	2	3	4
	3,56	9,82	19,3	31,9
	2,45	7,95	16,6	28,4
	1,57	6,3	14,1	24,2
	0,56	3,5	9,83	19,3

Приведение набора  $n$  одинаковых равномерно распределенных по длине масс ячеек  $m_1$  к эквивалентной распределенной массе выполняется по формуле

$$m_1 = m_{10} + \frac{(n+1)m_1}{l} \quad \text{кг/м}. \quad (2.48)$$

Приведение неравных или неравномерно расположенных масс описано в работе [2, с. 217-219].

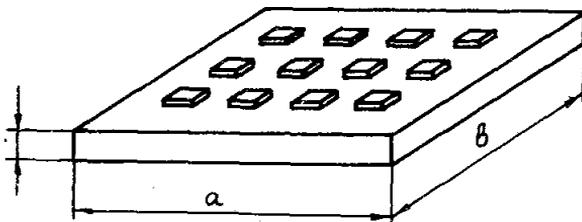


Рис. 2.13

упругость стенки блока. В этом случае применяется модель в виде плас-

Для конструкции, изображенной на рис. 2.8,д, например, микроблока пенальной конструкции с микросборками, прикрепленными ко дну корпуса, характерна передача колебаний блока к микросборкам через

тины, закрепленной по периметру и нагруженной по площади массами ЭРЭ и микросборок (рис. 2.13). Колебания пластины вдоль оси, перпендикулярной плоскости пластины, также описываются моделью рис. 2.9 и выражениями (2.45) и (2.45), при этом

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha}{ab} \sqrt{\frac{D(ab)}{m_{пл} + m_{эрэ}}} \quad r_4, \quad (2.49)$$

где  $a, b$  - размеры пластины, м;  $m_{пл}$ ,  $m_{эрэ}$  - масса пластины и суммарная

масса ЭРЭ, МСБ, кг;  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\epsilon^2)}$  - Цилиндрическая жесткость пластины, НМ;  $E$  - модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>;  $\epsilon$  - коэффициент Пуансона материала пластины (приложение D);

$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{p \cdot \frac{b^2}{a^2} + q + r \cdot \frac{a^2}{b^2}}$  - коэффициент, зависящий от формы и способа закрепления пластины, значения  $p, q$  и  $r$  определяются по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Эскиз закрепления	Коэффициенты $\alpha$			Эскиз закрепления	Коэффициенты $\alpha$		
	$p$	$q$	$r$		$p$	$q$	$r$
	1	2	1		0	0,43	1
	1	2,32	2,44		0,12	0,75	5,14
	1	2,57	5,14		0,12	0,31	0,12
	2,44	2,71	2,44		5,14	0	0
	5,14	2,93	2,42		0,12	0	0
	5,14	3,13	5,14		2,44	0	0
	0	0,13	0		0,12	0,707	2,44
	0	0	1		0,12	0,2	0
	1	0	0		0	0,514	5,14
	1	2	1		0	0,83	2,44

При расчете амплитуды колебаний, передаваемых от точек крепления ячеек к электрорадиоэлементам или микросборкам, применима модель в виде нагруженной пластины (рис. 2.13). Расчет амплитуды колебаний и виброперегрузок зависит от направления колебаний. Если линия колебаний направлена вдоль плоскости ячейки (см. рис. 2.8,е), то ввиду значительной продольной жесткости печатной платы, рамки и т.д. колебания передаются почти без изменений:  $S_3 = S_2$ ;  $a_3 = a_2$  (рис. 2.8,е). При колебаниях, перпендикулярных плоскости ячейки (рис. 2.8,ж), расчет ведут, как для случая, представленного на рис. 2.8,д. При этом

$\frac{|S_3|}{|S_2|} = |a_3| \cdot |a_2| = \eta$  и  $\frac{|S_3 - S_2|}{S_2} = \eta^*$  определяют по (2.45) и (2.46), а  $f_0$  по (2.49), допустимый прогиб  $|S_3 - S_2|$  по (2.43).

Для ячейки на печатных платах размеры пластины принимаются равными размерам печатной платы. При определении способа закрепления можно руководствоваться следующими правилами (рис. 2.14):

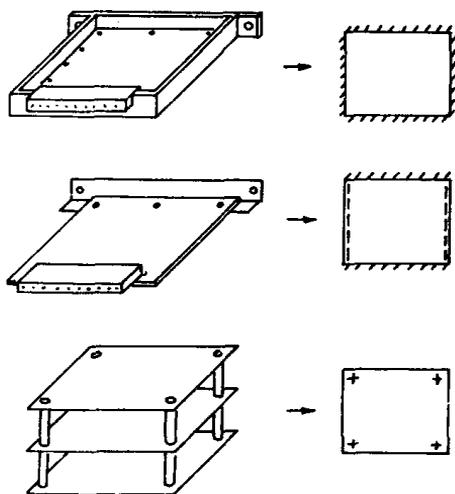


Рис. 2.14

зашемление края (в табл. 2.3 обозначено наклонной штриховкой) обеспечивается, если край платы приклеен, приклепан или привинчен в нескольких точках по длине к жесткой рамке или планке, также жестко закрепленной на каркасе блока; если на краю платы закреплен разъемный соединитель с большим числом контактов, который при установке ячейки в блок сочленяется с жестко закрепленной ответной частью соединителя; опирание края (обозначено штриховой линией) обеспечивается, если край платы скользит вдоль направляющей в

каркасе; если край платы прикреплен к нежесткой (например, тонкостенной) или нежестко закрепляемой на каркасе планке или угольнику (в этом случае край платы не может смещаться перпендикулярно плоскости платы, но может поворачиваться);

жесткое закрепление в точках (обозначено крестиками) будет в случае сборки пакета ячеек на стойках, шпильках.

Для ячеек сложной формы или состоящих из неоднородных материалов (цифровые ячейки 4 поколения, печатные платы с рамками или металлическими планками, микро-блоки пенального типа и т.д.) расчет ведется по формуле (2.49) за исключением способа определения цилиндрической жесткости. Для примера на рис. 2.15 представлена ячейка на металлической рамке с наиболее слабым сечением при изгибе А-А,

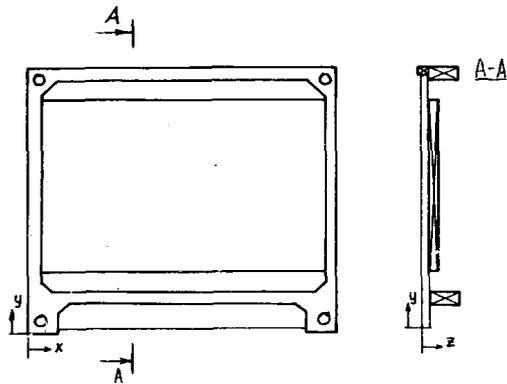


Рис. 2.15

для которого и ведется расчет. В данном случае жесткость ячейки складывается из жесткости печатной платы (2.49) и жесткости рамки

$$D = D_{пл} + D_p \quad \text{Н·м} . \quad (2.50)$$

Для определения цилиндрической жесткости рамки необходимо найти момент инерции сечения рамки:

$$D_p = \frac{EJ_p}{b} \quad \text{Н·м} . \quad (2.51)$$

Чтобы рассчитать  $J_p$  необходимо разбить сечение рамки на простейшие фигуры. В данном примере сечение разбито на 4 прямоугольника, момент инерции каждого из которых определяется по формуле:

$$J_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad \text{М}^4 , \quad (2.52)$$

где  $h_i$  - размер прямоугольника вдоль оси  $Z$ ;  $b_i$  - размер вдоль оси  $Y$ .

Далее необходимо определить координаты  $Z_i$  центров прямоугольников и координату центра тяжести всего сечения  $Z_0$ :

$$Z_0 = \frac{\sum b_i h_i z_i}{\sum b_i h_i} \quad \text{М} . \quad (2.53)$$

После этого находят  $J_p$  для подстановки в (2.51), (2.50), (2.49):

$$J_p = \sum [J_i + b_i k_i (x_i - x_0)^2]. \quad (2.54)$$

Моменты инерции сечений других элементов конструкции, например, корпуса аналогового микроблока пенального типа и т.п., находят аналогично. Коэффициент демпфирования  $\delta_0$  в формулах (2.45), (2.46) зависит от материала упругого элемента (см. приложения 1 и 7) либо определяется экспериментально для сложных конструкций. При  $\delta_0 \ll 1$  максимальное значение коэффициента передачи, наблюдаемое при резонансе, приблизительно рассчитывают по формуле:

$$\eta_p \approx \eta_p^* \approx 1 / (2\delta_0). \quad (2.55)$$

Для типичных конструкций известны ориентировочные значения  $\eta_p$ : для микроблоков СВЧ пенального типа - около 40, для цифровых ячеек на металлических рамках - 10...25, для ячеек на платах из стеклотекстолита - 5...12.

Последовательность анализа устойчивости блока к вибрациям:

- 1) исходными данными являются диапазон частот и амплитуда (ускорение, перегрузка) вибраций, действующих на объекте установки блока (задается в техническом задании).
- 2) выявить в конструкции блока элементы, чувствительные к воздействию нагрузок, и определить допустимую для них интенсивность вибрации. Как правило, такими элементами являются электрорадиоэлементы, амортизаторы (допустимые нагрузки для них приведены в ТУ, справочных данных, приложении 7), печатные платы (допустимый прогиб для которых находят по формуле (2.43)), микросборки с бескорпусными компонентами и т.д.
- 3) построить аналогично рис. 2.8 модель последовательной передачи колебаний к внутренним элементам блока. Пользуясь формулами (2.45), (2.47), (2.54) рассчитать для каждого из передаточных звеньев частоты собственных колебаний. Расчет выполнить для всех возможных направлений вибрации.
- 4) если блок установлен на амортизаторах, проверить условие их рациональной расстановки (2.44).
- 5) последовательно рассчитать амплитуды колебаний (ускорения, перегрузки, амплитуды деформации) для всех промежуточных звеньев (рис. 2.8,б-ж) вплоть до ЭРЭ, МСБ. Расчет выполнить для всех возможных направлений вибрации и на всех частотах собственных колебаний передаточных звеньев, попадающих в диапазон частот внешних вибраций, а также на граничных частотах диапазона (поддиапа-

зонов) внешних вибраций. При необходимости взаимный перевод амплитуды вибрации  $S$ , виброскорости  $v$ , ускорения  $a$  и перегрузки  $n$  на любой частоте выполняется по формулам

$$v = 2\pi f S; \quad a = 2\pi f v = (2\pi f)^2 S; \quad n = a/g, \quad (2.56)$$

где  $g = 9,83 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

б) проверить выполнение условий виброустойчивости 1)...5) для всех критичных элементов конструкции и в случае нарушения хотя бы одного из них изменить конструкцию блока (увеличить жесткость несущих конструкций блока и ячеек, применить дополнительную виброизоляцию, выбрать более вибропрочные элементы и т.д.), после чего проверку повторить.

СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т а б л и ц а П I . I

МАТЕРИАЛ	ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ										
	Плотность		При $f = 1$ МГц		ЭКСТРИ- ЧЕСКАЯ прочность кВ/мм	ТКАР $\sigma \cdot 10^6$ 1/К	Кэффи- циент ТЕПЛОПРОВО- ДИМОСТИ $\lambda, \frac{Вт}{м \cdot К}$	Предел прочности $\sigma_{вр} \cdot 10^{-6}$ Н/м <sup>2</sup>	Модуль упругости $E \cdot 10^{-9}$ Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона $\epsilon_n$	Коэффициент демпирования $\Lambda$
	$\rho, г/см^3$	$\epsilon$	$tg \delta \cdot 10^4$	$\epsilon \cdot 10^{-6}$ Н/К							
СТАЛЬ	2,65	8,5	20...35	47	5 ± 0,2	1,42	176	180	-	-	-
Ст-50-1	3,17	10	7	40	3,2	-	147	180	0,26	-	-
КЕРАМИКА	3,86	10,3	6	60	5 ± 0,5	8,35	130	255	0,26	-	-
М7	3,65	-	-	-	5,6	9,7	85	204	-	-	-
БРОКЕРИТ-9	2,83	6,3	6	30	5,3	60...200	100	320	-	-	-
ПОЛИКОР	3,98	10,5	1...2	50	6,2...8,0	22...32	200	392	0,26	-	-
СТЕКЛА	2,2...3,05	-	45	40	3,7...9,0	0,8...3,6	50...90	60...75	0,24...0,37	-	-
ФТОРОПЛАСТ-4	2,25	20...2,1	10...2,5	-	80...250	0,25	22	0,47...0,85	-	-	-
ФРАФ-4	2,6...2,9	2,6 ± 0,2	10 (ЮПБ)	-	5	-	-	-	-	-	-
ПОЛИЭТИЛЕН	1,06...1,1	2,6...2,7	3...7	-	80	0,09...0,14	-	-	-	-	-
СТЕКЛОТЕКСТОЛИТ	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
СФ	1,85	6,0	25	-	-	-	-	30,2	0,22	0,02...0,1	-
СТЭФ	2,47	-	-	-	3,7	0,16...0,38	75	32	0,279	-	-
СТ-1	1,75	-	-	-	-	-	-	34,5	-	0,238	0,03...0,08
НФА	2,32	-	-	-	-	-	-	11...14	-	-	0,03...0,08
ГЕТЬНАКС	1,4	-	-	-	-	0,15...0,18	-	-	-	-	-
ТЕКСТОЛИТ	1,5	-	-	-	-	0,27	-	-	-	-	-

Т а б л и ц а П И.2

МАТЕРИАЛ	ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ							СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ		
	Плотность $\rho, \text{г/см}^3$	Удельное сопротивление $\rho_e, \text{Ом}\cdot\text{м}$	Модуль упругости $E, 10^9 \text{ Н/м}^2$	Коэффициент Пуассона $\nu_n$	Коэффициент деформации $\Delta$	Предел прочности $\sigma_{\text{пр}}, 10^6 \text{ Н/м}^2$	ТКАР $\alpha, 10^{-6} / \text{К}$	Коэффициент температурной расширительности $\lambda, \text{м/м}\cdot\text{K}$	Состояние поверхности	$\varepsilon_4$
Алюминий	2,7	0,279	71	0,29	-	80	23,9	200	полированная окисленная фольга	0,04...0,06 0,20...0,31 0,09 0,1
Золото	19,32	0,244	84	-	-	140	14,2	297	-	0,02
Кремний	2,33	-	109	-	-	220	2,56	120...130	{ полированная окисленная при 600°C	0,05
Медь	8,96	0,169	120	0,41	0,01...0,25	220	16,5	380...390	{ полированная окисленная при 600°C	0,05
Олово	7,3	1,54	41...55	0,21...0,5	-	15...27	2,3	64	{ полированная окисленная при 600°C	0,05
Никель	8,35	0,78	21	0,38	-	450	13,3	60	{ полированная окисленная при 600°C	0,05
Серебро	10,5	0,162	77	-	-	130	19	416	полированная	0,05
Сплавы:										
Алюминиевый Д1	2,8	-	71	0,29	0,005	410	22	-	-	-
Алюминиевый Д16	2,76	-	71	0,29	0,013	520	22	-	анодированная	0,37...0,41
Алюминиевый В95	2,85	-	71	0,29	-	560	23,6	-	-	-
Алюминиевый А2	2,65	-	71	0,29	0,004...0,0085	180	21,1	175	-	-
Алюминиевый А19	2,65	-	72	-	-	200	23	196	-	-
Титановые ВТ6, ВТ3	4,4...4,9	4,5	105	0,25...0,33	0,0063...0,0125	950	8...10	11...16	-	0,63
Магниевого МА1В	1,48	-	-	-	-	180	35,9	120...127	-	-
Магниевого МА2-1	1,8	-	-	-	-	280	26	-	-	-
29НК (ковал)	8,33	-	145	-	-	480	45...55	21	-	0,82
42Н	8,12	-	150	-	-	600	47...55	-	-	0,066
Сталь 20, Сталь 45	7,82	-	200	0,25	-	420...610	11...17	45	{ полированная окисленная	0,8
50ХГСА	7,85	-	198	0,36	-	1080	-	-	{ окисленная	0,54
Х18НЮТ	7,8	-	190	0,36	-	-	-	14...33	{ амст холоднокатанный	0,08
Бронза БФ-10-1	8,58	0,4...1,8	75...4	0,31	-	200...300	-	17	{ полированная	0,16
Бронза БФ-2	8,23	-	117...141	-	-	$\geq 400$	-	17	-	-
Бронза БФНТ19	8,3	-	128	-	-	400...1550	-	64	-	-
Латунь А68	8,6	0,51	110	0,41	0,03...0,06	300...660	16,5	80...105	{ полированная	0,05
Латунь А62	8,43	0,66	110	0,41	0,03...0,06	330...600	19	80...105	{ прокатанная	0,2
Латунь АЖУЦ39-1-1	8,5	0,66	105	0,41	0,03...0,06	450...700	20,6	80...105	{ тисляя	0,22

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ НА БЕСКОРИУСНЫЕ ИС

Т а б л и ц а П 2.1

Тип микросхемы	Функциональное назначение	Обозначение ТУ на ИС	Интервал рабочих температур среды (температура отвода), град. С	Минимальная наработка на отказ в составе МСБ, ч	Габаритный чертеж (№ рис.)	Тип корпуса - ного аналога
1	2	3	4	5	6	7
740 УД 1-1	ОУ общего назначения	6К0.347.011ТУ1	-60...+100	50000	П 2.2	153УД 1
740 УД 4-1	То же	6К0.347.021ТУ	-60...+100	50000	П 2.3	140УД 6
740 УД 5-1	" "	6К0.347.011ТУ3	-60...+85	50000	П 2.1	153УД 2
744 УД 1-1	" "	6К0.347.063ТУ	-60...+85	50000	П 2.4	544УД 1
744 УД 2-1	Быстродействующий ОУ	6К0.347.063ТУ	-60...+85	40000	П 2.5	544УД 2
Б 140УД17-4	Прецизионный ОУ	6К0.347.004ТУ17	-60...+125	50000	П 2.6	140УД 17
Б 140УД172-	То же	6К0.347.569-01ТУ	-60...+85	50000	П 2.6	" "
Б 196НТ 1-4	Матрица транзисторов	6К0.347.327ТУ	-60...+125	50000	П 2.7	196НТ 1
Б 196НТ 5-4	Матрица транзисторов	" "	-60...+125	50000	П 2.7	196НТ 5

Окончание табл. П 2.1

1	2	3	4	5	6	7
Б I42EH 5-4	Фиксированный стабилизатор	6НО.347.303ТУ	-60...+125	50000	П 2.8	I42EH 5
Б I42EH 8-4	напряжения					I42EH 8
Б I42EH 9-4	напряжения					I42EH 9
Б I42EH 4-4	Фиксированный стабилизатор	6НО.347.303ТУ	-60...+125	50000	П 2.10	I42EH 4
Б I42ЕН1Б-4	напряжения	6НО.347.303ТУ	-60...+125	50000	П 2.9	I42ЕН1 Б
Б I42ЕН2Б-4	стабилизатор					
Б 521СА3-2	Прецизионный компаратор	6НО.347.454-02ТУ	-60...+85	50000	П 2.11	521СА 3
Б 572ПА1-2	напряжения	6НО.347.455ТУ	-60...+85	25000	П 2.12	572ПА 1
	Умножающий 10-й разрядный ЦАП					

Т а б л и ц а П 2.2

Тип микросхем	Функциональное назначение	Обозначение ТУ исполнения	Габаритный чертеж (№ рис.)
1	2	3	4
<b>СЕРИИ Б533-I (ТТЛШ-технология)*</b>			
Б533ЛА1-I	2 элемента 4И-НЕ	БК0.347.173-01	П 2.14
Б533ЛА2-I	Элемент 8И-НЕ	то же	П 2.15
Б533ЛА3-I	4 элемента 2И-НЕ	"-	П 2.13
Б533ЛА9-I	4 элемента 2И-НЕ с открытым коллектором	"-	П 2.13
Б533ЛИ1-I	4 элемента 2И	"-	П 2.13
Б533ЛИ6-I	2 элемента 4И	"-	П 2.16
Б533ЛР1-I	Элементы 2-2И-2ИЛИ-НЕ и 2-3И-2ИЛИ-НЕ	"-	П 2.13
Б533ЛН1-I	6 элементов НЕ	"-	П 2.17
Б533ТВ6-I	2 триггера	БК0.347.173-13	П 2.18
<b>СЕРИИ 765-I (КМДП-технология)**</b>			
765ЛА7-I	4 элемента 2И-НЕ	БК0.347.151.ТУ1	П 2.19
765ЛА8-I	2 элемента 4И-НЕ	то же	П 2.19
765ЛА9-I	3 элемента 3И-НЕ	БК0.347.151.ТУ4	П 2.34
765ЛЕ5-I	4 элемента 2ИЛИ-НЕ	БК0.347.151.ТУ3	П 2.23
765ЛЕ6-I	2 элемента 4ИЛИ-НЕ	то же	П 2.22
765ЛЕ10-I	3 элемента 3ИЛИ-НЕ	БК0.347.151.ТУ4	П 2.35
765ЛН1-I	6 стробируемых элементов "НЕ"	БК0.347.151.ТУ3	П 2.25
765ЛН2-I	6 элементов "НЕ"	БК0.347.151.ТУ1	П 2.19
765ЛС2-I	4 элемента "И-ИЛИ"	БК0.347.151.ТУ3	П 2.21
765ЛП2-I	4 элемента "исключающее ИЛИ"	БК0.347.151.ТУ3	П 2.23
765ЛП13-I	3 мажоритарных элемента	БК0.347.151.ТУ1	П 2.19
765ТМ2-I	2 триггера <i>D</i> -типа	БК0.347.151.ТУ1	П 2.19
765ТМ3-I	4 триггера <i>D</i> -типа	БК0.347.151.ТУ3	П 2.27
765ТВ1-I	2 триггера <i>JK</i> -типа	БК0.347.151.ТУ3	П 2.29
565ТР2-I	4 триггера <i>RS</i> -типа	БК0.347.151.ТУ3	П 2.28
765ИР2-I	2 регистра сдвига	БК0.347.151.ТУ5	П 2.20
765ИР-9	4-х разрядный универсальный регистр	БК0.347.151.ТУ1	П 2.20

1	2	3	4
765КП1-I	два 4-х канальных мультиплексора	6К0.347.151.ТУ1	П 2.20
765КП2-I	Восьмиканальный мультиплексора	6К0.347.151.ТУ1	П 2.20
765ПУ4-I	6 преобразователей уровня	6К0.347.151.ТУ3	П 2.24
765Д1-I	Двоично-десятичный дешифратор	6К0.347.151.ТУ5	П 2.20
765СА1-I	12-ти разрядная схема сравнения	6К0.347.151.ТУ3	П 2.31
765КТ3-I	4 двунаправленных переключателя	6К0.347.151.ТУ4	П 2.33
765МЕ9-I	Счетчик-делитель на 8	6К0.347.151.ТУ3	П 2.32
765МЕ10-I	Два 4-х разрядных счетчика	6К0.347.151.ТУ3	П 2.30
765МЕ11-I	4-х разрядный реверсивный счетчик	6К0.347.151.ТУ1	П 2.20
765МЕ14-I	Универсальный 4-х разрядный реверсивный счетчик	6К0.347.151 ТУ	П 2.20
765ММ1-I	4-х разрядный сумматор	6К0.347.151.ТУ1	П 2.20
765МП2-I	4-х разрядный компаратор	6К0.347.151.ТУ3	П 2.26

Интервал рабочих температур платы (теплоотвода) под кристаллом 213...358 К; температура кристалла  $\leq 383$  К;

минимальная наработка на отказ в составе МСБ 25000 ч;

функциональные и параметрические аналоги ИС серии 533/555.

\*\*Интервал рабочих температур платы (теплоотвода) под кристаллом 213...358 К;

минимальная наработка на отказ в составе МСБ 50000 ч;

функциональные и параметрические аналоги ИС серии 564.

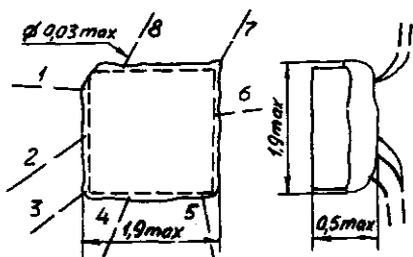


Рис. П2.1

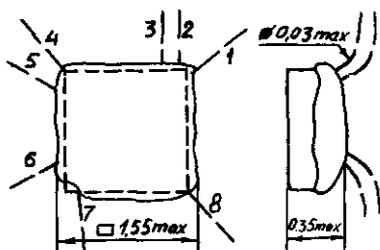


Рис. П2.2

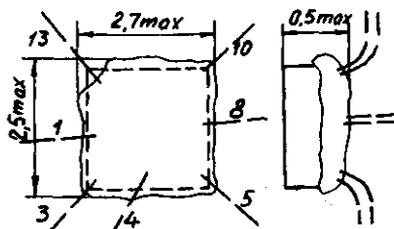


Рис. П2.3

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
1	Вх.инверт.	8	Выход
3	Вх.неинверт.	10	-Цпит
4	+Цпит.	13	Баланс
5	Баланс		

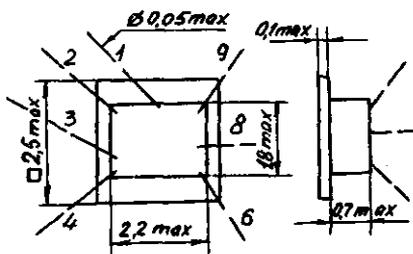


Рис. П2.4

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
1	Баланс	6	-Цпит
2	Баланс	8	Выход
3	Вх.инверт.	9	+Цпит
4	Вх.неинверт.		

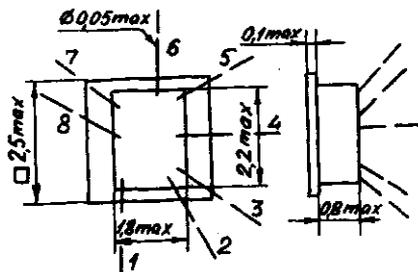


Рис. П2.5

Масса микросхем

$Б744УД1,2 \dots \leq 0,015 \text{ г}$

$Б740УД5 \dots \leq 0,0006 \text{ г}$

$Б740УД1А,Б \dots \leq 0,01 \text{ г}$

$Б740УД4 \dots \leq 0,006 \text{ г}$

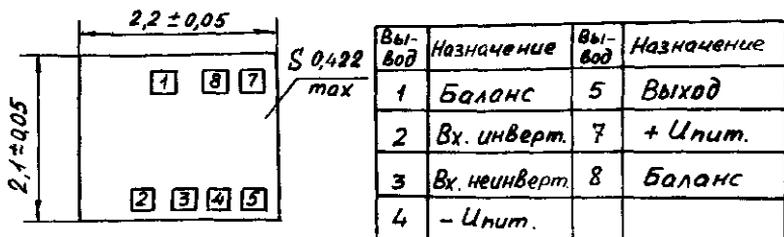


Рис. П2.6

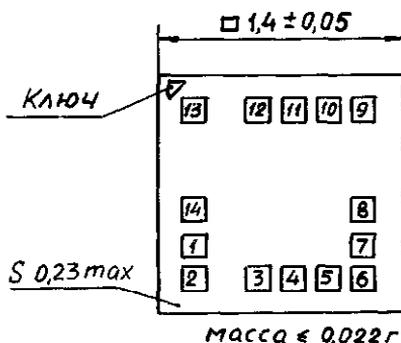


Рис. П2.7

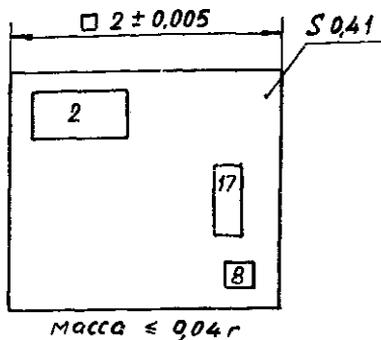


Рис. П2.8

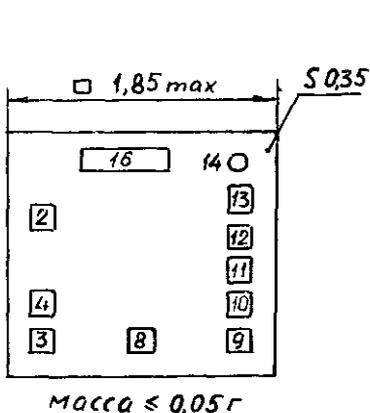


Рис. П2.9

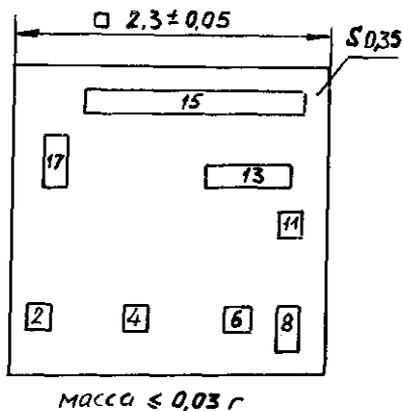
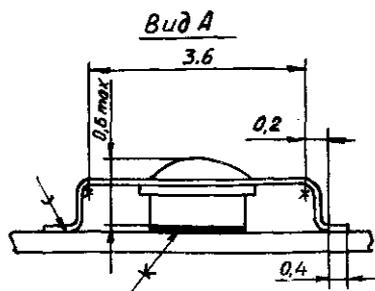
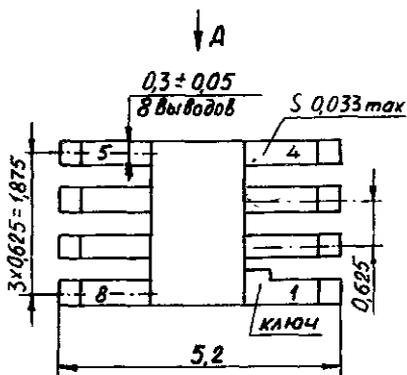


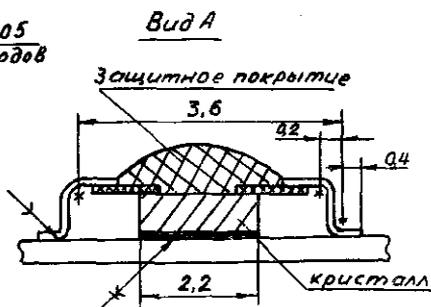
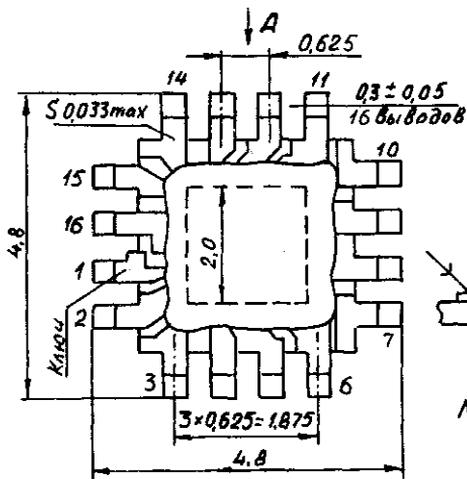
Рис. П2.10



Масса с рамкой не более 0,06 г

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
2	Эмиттерный выход	6	Балансировка
3	Нешвертирующийся вход	7	Стробирование, баланс.
4	Инвертирующий вход	8	Коллекторный выход
5	Минус питания	1	Плюс питания

Рис. П2.11



Масса с рамкой не более 0,06 г

Рис. П2.12

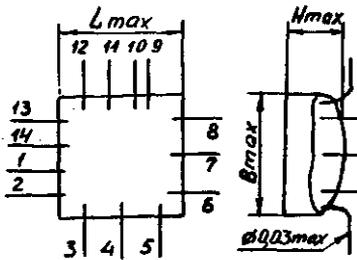


Рис. П2.13

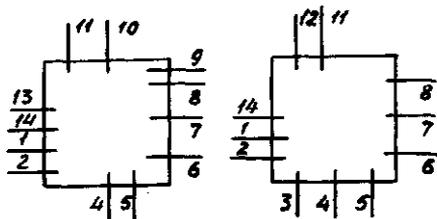


Рис. П2.14

Рис. П2.15

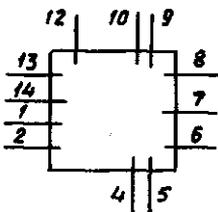


Рис. П2.16

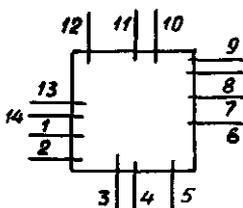


Рис. П2.17

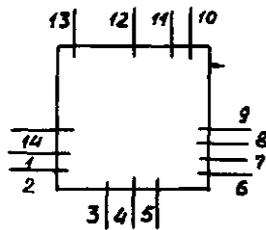


Рис. П2.18

Тип микросхе- мы	Рисунок	Размеры, мм		
		Lmax	Bmax	Hmax
6533 ЛА1-1	П10.14	1,25	1,25	0,85
6533 ЛА2	П10.15	1,25	1,25	
5533 ЛА3	П10.13	1,25	1,25	
6533 ЛА9	П10.13	1,25	1,25	
6533 ЛН1	П10.17	1,45	1,45	
6533 ЛИ1	П10.13	1,25	1,25	
6533 ЛИ6	П10.16	1,25	1,25	
6533 ЛР11	П10.13	1,25	1,25	
6533 ТВ6	П10.18	2,3	1,9	

Масса микросхем не более 0,02 г

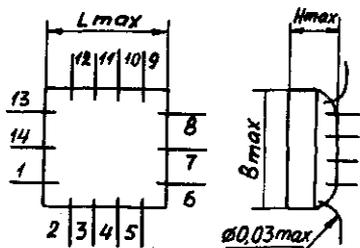


Рис. П2.19

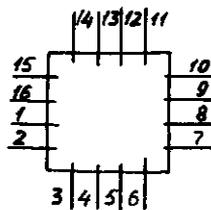


Рис. П2.20

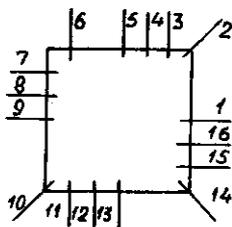


Рис. П2.21

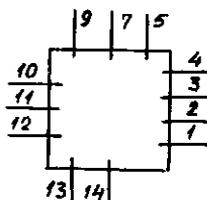


Рис. П2.22

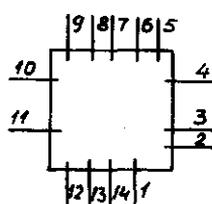


Рис. П2.23

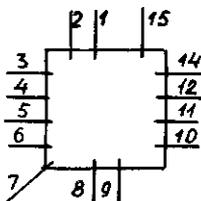


Рис. П2.24

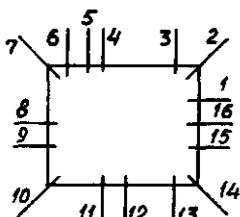


Рис. П2.25

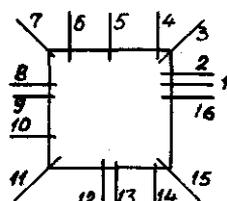


Рис. П2.26

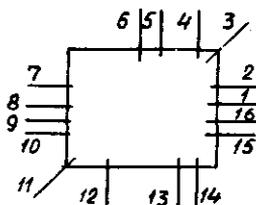


Рис. П2.27

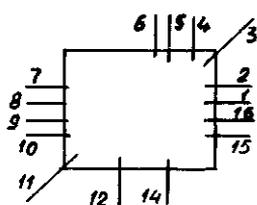


Рис. П2.28

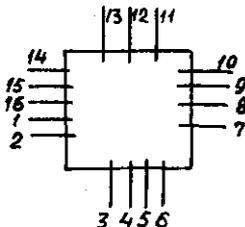


Рис. П2.29

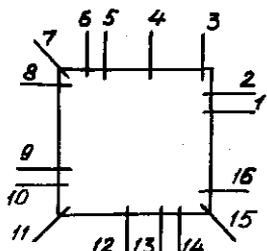


Рис. П2.30

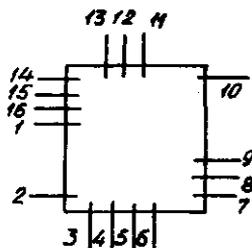


Рис. П2.31

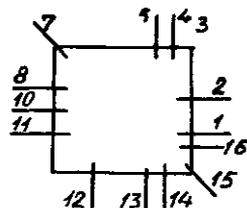


Рис. П2.32

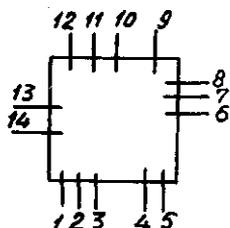


Рис. П2.33

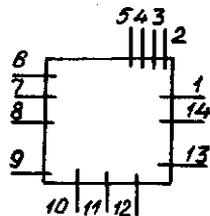


Рис. П2.34

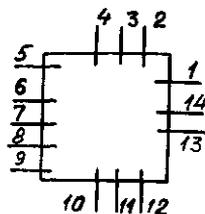


Рис. П2.35

Тип микро- схемы	Рису- нок	Размеры, мм, не более			Масса, мг	Тип микро- схемы	Рису- нок	Размеры, мм, не более			Масса, мг
		L	B	H				L	B	H	
ЛА7, ЛА8	П10.19	1,9	1,7	1,0	15	ЦД9	П10.20	2,6	2,0	1,0	50
ЛА9	П10.34	1,8	1,7		15	КП1, КП2	П10.20	3,2	3,2	1,0	50
ЛЕ5	П10.23	1,6	1,6		20	ПЧ4	П10.24	1,8	1,8	0,85	20
ЛЕ6	П10.22	1,6	1,6	0,85	20	ЦД1	П10.20	2,1	2,1	1,0	50
ЛЕ10	П10.35	1,8	1,7		15	СА1	П10.31	2,1	2,3		20
ЛН1	П10.25	2,5	2,0		20	КТ3	П10.33	2,0	1,7		15
ЛН2	П10.19	2,0	2,0	1,0	15	ЦЕ9	П10.32	2,1	1,9	0,85	20
ЛС2	П10.21	1,9	1,9			ЦЕ10	П10.30	2,7	2,7		20
ЛП2	П10.23	1,6	1,6	0,85	20	ЦЕ11	П10.20	3,0	3,0		
ЛП13	П10.19	1,7	1,7	1,0	15	ЦЕ14	П10.20	2,8	2,8	1,0	50
ТМ2	П10.19	1,9	1,9	1,0	15	ЦМ1	П10.20	2,4	2,4		
ТМ3	П10.27	2,3	1,9	0,85	20	ЦП2	П10.26	2,3	2,3	0,85	20
ТВ1	П10.29	2,3	1,9	0,85	20	ЦК1	П10.20	2,6	2,6	1,0	50
ТР2	П10.28	2,3	1,9	0,85	20						
ЦД2	П10.20	2,6	2,7	1,0	50						

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ НА КОРПУСНЫЕ ИС

Габаритные размеры и шаги установки корпусных ИС в зависимости от среднего числа задействованных выводов, при котором возможно применение двухсторонних печатных плат с односторонней установкой корпусных ИС или многослойных печатных плат с двухсторонней установкой ИС при числе слоев не менее четырех.

Т а б л и ц а П 3.1

Обозначение корпуса по ГОСТ 17467-79	Габариты корпуса, мм $l_x, l_y, h_k$ (или $d, h_k$ )	Размер монтажной площадки, мм	Среднее число $n_{суб}$ задействованных выводов в одной ИС, не более	Шаг установки ИС по осям, мм	
				$t_x$	$t_y$
1	2	3	4	5	6
I206. I4-5	19,5x22x5,0	14,0x13,7	8	22,5	25,0
			10	25,0	25,0
			12	27,5	25,0
			14	29,0	25,0
I207. I4-5	19,5x29,5x5,0	14,0x21,2	8	22,5	32,5
			10	25,0	35,0
			12	27,5	37,5
			14	29,0	39,0
I211. 26-5 157. 29-1	39,0x29,0x5,0	34,0x20,0	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
201. I4-8(9,10) 2102. I4-2(3,5)	19,2x7,5x5,0	4,2x3,2	8	22,5	12,5
		5,0x3,0	9	22,5	15,0
		3,9x2,9	11	25,0	15,0
			12	25,0	17,5
			14	27,5	17,5

Продолжение табл. П 3.1

1	2	3	4	5	6
20I.16-5(6)	19,5x7,5x5,5	4,2x3,2	8	22,5	12,5
20I.16-8		5,0x3,0	9	22,5	15,0
20I.16-13(б)	19,2x7,5x5,5	4,4x2,2	11	25,0	15,0
20I.16-17		7,0x3,5	12	25,0	17,5
			14	27,5	17,5
			16	27,5	20,0
20IA.16-I	19,2x10,0x4,65	6,0x5,0	8	22,5	15,0
			10	25,0	15,0
			12	27,5	17,5
			14	29,0	17,5
210A.22-I	28,0x9,8x4,95	5,0x4,0	16		
			18		
			20		
			22		
210B.24-I(3)	29,5x14,8x4,5	7,5x7,5	16		
			18		
			20		
			22		
			24		
244.48-I	31,0x25,0x3,8	$d=8,0$	30	50,0	40,0
			32	52,5	40,0
			34	55,0	40,0
			36	57,5	40,0
2207.48-5			38	60,0	40,0
			40	62,5	40,0
			42	65,0	42,5
			44	67,5	45,0
			46	70,0	45,0
			48	70,0	47,5
			18	45,0	22,5
2130.24-б			20	47,5	22,5
			22	47,5	25,0
			24	50,0	25,0
301.8-2	$d=9,5; h_2=4,8$	$d=3,0$			
3101.8-б	$d=9,5; h_2=4,8$		8	12,5	12,5
302.8-I	$d=9,5; h_2=5,5$				

Окончание табл. II 3.1

I	2	3	4	5	6
30I.I2-I	$d=9,5$ $h=4,8$		I0	15,0	17,5
310I.I2-5	$d=9,5$ ; $h=4,8$	$d=3,0$	I2	17,5	17,5
3II.8-I(2)			8		
3II.I0-I	39,0x25,0x7,0	$d=8$	I0		
40I.I4-3(4)	10,0x6,5x2,3	4,9x2,0	I0	12,5	15,0
40I.I4-5	10,0x6,7x2,2		II	12,5	17,5
4105.I4-5			I2	15,0	17,5
			I4	15,0	20,0
402.I6-2I(23, 25, 32)	12,0x9,4x2,7	5,1x3,1	I4	12,5	20,0
402.I6-33		4,1x3,1			
406.I6-5			I6	17,5	20,0
402.I6-I8			I4	15,0	20,0
41I2.I6-I(2,3)	12,8x9,4x2,8	5,5x4,5	I6	20,0	20,0
4I3I.24-I(2)	19,7x16,8x3,05	10,7x8,4	I8		
4I3I.24-3		7,5x7,4	20		
			22		
			24		
41I9.28-I(2)	18,25x12,75x3,0	5,0x5,0	I3		
			20		
			22		
			24		
			26		
			28		
4I22.40-I(2)	25,7x12,75x3,0	6,0x5,0	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
429.42-I(3)	25,6x16,7x2,9	6,2x6,2	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
			42		

Таблица П 3.2

Тип корпуса	Вариант установки корпуса	Размер краевого поля $X_1(X_2)$ , мм		Тип корпуса	Эскиз установки корпуса	Размер краевого поля $X_1(X_2)$ , мм	
		Толщина ПП				Толщина ПП	
		до 1,0	до 2,0			до 1,0	до 2,0
I51. I5-I ...6 I53. I5-I I55. I5-I I55.36-I I57.29-I		5,0		402. I6-2	а	2,5	5,0
		7,5	7,5		б	7,5	
		5,0	7,5				
20I. I4-I 209.24-I 244.48-I	а* б*	2,5 5,0	5,0	42I.40-I	а б	2,5 7,5	5,0 10,0
30I.8-I,2 30I. I2-I		2,5	5,0	42I.48-2 42I.50-I	а	2,5	5,0
40I. I4-3,4 402. I6-I	а* б*	2,5 5,0	5,0		б	5,0	7,5
		5,0					

\* вариант а - установка ИС с вертикальной ориентацией выводов; б - с горизонтальной ориентацией выводов на печатной плате.

Таблица П 3.3

Элемент электрического соединения	Размер краевого поля $U_1$ , мм				
	Тип корпуса				
	I51. I5-I ...6 I53-I5-I I55. I5-I	I55.36-I I57.29-I I57.29-I	20I. I4-I 209.24-I 244.48-I	30I.8-I,2 30I. I2-I	40I. I4-3,4 402. I6-I,2 42I.40-I,2 42I.50-I
ГРПМ9-У	20,0	22,5	20,0	17,5	20,0
ГРПМ9-Н	17,5	20,0	17,5	15,5	17,5
СНП34 на I35 контактов	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
кабель гибкий печатный	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0

Окончание табл. П 3.3

Элемент электрического соединения	Размер краевого поля $\frac{3}{2}$ , мм				
	Тип корпуса				
	151.15-1 ...6	155.36-1	201.14-1	301.8-1,2	401.14-3,4
	153-15-1	157.29-1	209.24-1	301.12-1	402.16-1,2
	155.15-1	157.29-1	244.48-1		421.40-1,2 421.50-1
Кабель тканый и опрессованный	25,0	27,5	25,0	25,0	25,0
Жгут объемный	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0

Таблица П 3.4

Элемент контроля	Размер краевого поля $\frac{3}{2}$ , мм				
	Тип корпуса				
	151.15-1,6	155.36-1	201.14-1	301.8-1,2	401.14-3,4
	153.15-1	157.29-1	209.24-1	301.12-1	402.16-1,2
	155.15-1		244.48-1		421.40-1 421.48-2 421.50-1
Колодка с запайкой штырей в отверстия	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Колодка с использованием контактных площадок					
Одиночные пистоны и контакты	10,0	12,5	10,0	10,0	10,0

Приложение 4

Клеи, применяемые в РС

Марка клея	Диапазон рабочих температур, °С	Область применения	Режим отверждения			Жизнеспособность при $t = 20^{\circ}\text{C}$ , ч	Толщина клееного шва, мм
			время, ч	температура, °С	давление, МПа		
I	2	3	4	5	6	7	8
БФ-2 БФ-4	-60...+85	Склеивание пластин трансформаторов, дросселей, крепления баббара, проклейка витков катушек	24...25 или 2...5	25 160 или	без давления 0,5...1	-	15...80
БФР-4К	-60...+200	Изготовление многослойных печатных плат	4...4,5 2...2,5	120 180	1...3,5	-	15...100
Д9	-60...+85	Склеивание деталей корпусов, обойм, стоек, а также деталей из полистирола	24...25 или 3...4	25 100	0,02...0,1	0,66	50...250
ОК-720Т	-60...+85	Склеивание оптических деталей, пьезокварцевых пластин, световодов	10...12 или 5...7	25 затем 60	0,01...0,02	0,66	10...50
ВК-9	-60...+125	Дополнительное крепление ЭРЭ, микросхем и МСБ на печатной плате, а также установка бескорпусных ИС и ЭРЭ на подложки	1,5...2 или 24...25	60 или 25	0,01...0,02	1,5	30...250

Продолжение прилож. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
ВТ-25-200	-60...+200	Создание вакуумноплотных швов, приклеивание ферритов к подложкам и корпусам ИСБ СВЧ	48...72 или 3...3,5	25 80	0,05...0,1	1	50...250
К400	-60...+250	Создание вакуумноплотных швов с малой усадкой	48...72 или 2,5...3	25 80	0,02...0,1	2	100...250
КТ-30	-60...+200	Склеивание резиновых деталей между собой и с металлами	48...72 или 6...7	25 65	0,02...0,03	-	30...100
Эластосил II-01 и I3-63	-60...+200	Приклеивание прокладок из резины в пазы, крепление проводов и жгутов на ПП, приклеивание ферритов на металл	24...26 (максимальная прочность через 5 суток)	25	0,01...0,02	-	50...250
ПУ-2	-60...+85	Склеивание деталей конструкции (корпуса, обоймы, стойки), приклеивание ферритов	16...18 или 4...5	65 105	0,05...0,3	2	50...250
ТПК-1 (Контактол)	-60...+85	Эранирование и контактирование металлических поверхностей	24...25 или 1...2 5...6	25 25 60	0,01...0,05	2	30...100

Отключение прилож. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
СММ-I	-60...+60	Создание герметичных высокопрочных швов	24...28	25	0,1...1,5	0,33	50...100
ПС	-50...+60	Склеивание деталей бытовых РСС	10...20	25	0,15...0,3	-	10...50
АК-20	-60...+60	Технологическое крепление микросхем при их распаке	24...25	25	без давления	-	10...100
ЛВА	-40...+60	Склеивание деталей из пластика, дерева и металла	24...36 затем 24...36	25	0,25...0,3	-	30...100
ЭЧЗ-С ЭЧЗ-Н	-60...+125	Создание контактных соединений в СВЧ, приклейка мощных кристаллов	1,5...2	120	0,01...0,1	16	60...250
КТ-102	-60...+200	Приклеивание бескорпусных микросборок на планки металлических рамок	72 24 6...7	25 или 25 затем 60	0,02...0,03	-	200...300

Приложение 5

Воздействия факторов внешней среды на РЭС

Название группы РЭС	Основные факторы внешних воздействий										Акустический шум в полосе 50-1000 Гц дБ	Длинейное ускорение, м/с <sup>2</sup>
	Температура, К	Относительная влажность при 298 К, %	Давление, кПа	Ветровая нагрузка, м/с	Удары		Вибрации		Частота, с <sup>-1</sup>	Ускорение, м/с <sup>2</sup>		
				Ускорение, м/с <sup>2</sup>	Длительность, мс	Частота, мин <sup>-1</sup>	Частота, с <sup>-1</sup>					
Стационарные в стапливаемом помещении	233-325	80	61	-	-	-	10-30	19,6	85	-		
Стационарные на открытом воздухе	233-333	93	61	до 50	-	-	10-30	19,6	85	-		
Возимые на автомобильном транспорте	233-333	93	61	до 70	5-10	40-60	4-60	78,5	100	3,12		
Железнодорожном	233-333	93	61	до 50	5-10	40-60	3-30	19,6	100	-		
Судовые	233-333	93	61	до 70	3-10	40-60	2-100	19,6	125	3,12		
Большие суда	233-333	93	61	до 50	5-10	40-60	4-100	78,5	140	-		
Малые суда	233-333	93	61	до 70	5-10	40-60	5-150	56,9	140	3,12		

Название группы РЭС	Основные факторы внешних воздействий										Линейное ус-корение, м/с <sup>2</sup>
	Темпера-тура, К	Относитель-ная влажность, % при 298 К	Давле-ние, кПа	Ветро-вая нагрузка, м/с	Удары		Вибрации		Акустичес-кий шум в полосу 50-1000 Гц, дБ	Уско-рение в м/с <sup>2</sup>	
					Уско-рение м/с <sup>2</sup>	Длитель-ность мс	Часто-та, мин <sup>-1</sup>	Часто-та, с <sup>-1</sup>			
Носимые и портя-тивные на откры-том воздухе	233-333	93	61	до 50	96	5-10	40-80	10-70	37	85	-
Носимые и портя-тивные в отапли-ваемом помещении	233-328	60	61	-	96	5-10	40-80	10-30	10,7	85	-
Самолетные	233-333	93-100	2	-	117-736	5-15	-	5-2000	1-196	150	-
Ракетные	233-328	100	0,12	-	961	10-12	-	0-500	196,2	170	-
Космические	233-328	-	0	-	-	-	-	1-2500	4,9-69	170	-

Справочные данные и номограммы для  
расчета тепловых режимов РЭС

Т а б л и ц а П 6.1

$t, ^\circ\text{C}$	$\gamma, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$C_p, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$	$\lambda_{10}^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$	$\nu \cdot 10^6, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$Pr$
- 50	1,584	1010	2,04	9,23	0,728
- 40	1,521	1010	2,12	10,42	0,724
- 30	1,458	1010	2,20	11,60	0,720
- 20	1,395	1010	2,28	12,79	0,716
- 10	1,344	1010	2,36	13,04	0,712
0	1,293	1000	2,44	13,28	0,707
10	1,247	1000	2,51	14,16	0,705
20	1,205	1000	2,60	15,06	0,703
30	1,165	1000	2,68	16,00	0,701
40	1,128	1000	2,76	16,96	0,699
50	1,093	1000	2,83	17,95	0,698
60	1,060	1000	2,90	18,97	0,696
70	1,029	1000	2,97	20,02	0,694
80	1,000	1000	3,05	21,09	0,692
90	0,972	1000	3,13	22,10	0,690
100	0,946	1000	3,21	23,13	0,688
110	0,922	1000	3,28	24,29	0,687
120	0,898	1000	3,34	25,45	0,686

$$Gr = \beta \cdot g \frac{L^3}{\nu^2} (t - t_c), \quad Pr = \frac{\nu}{a}, \quad \beta = \frac{1}{t_c + 273},$$

$L$  - определяющий размер.

Т а б л и ц а П 6.2

$R_z, \text{ мкм}$	10	20	30	40	50	60
$B$	20	18	16	14	13,5	13

Номограмма для определения  $\alpha_k$  для закона „1/4“

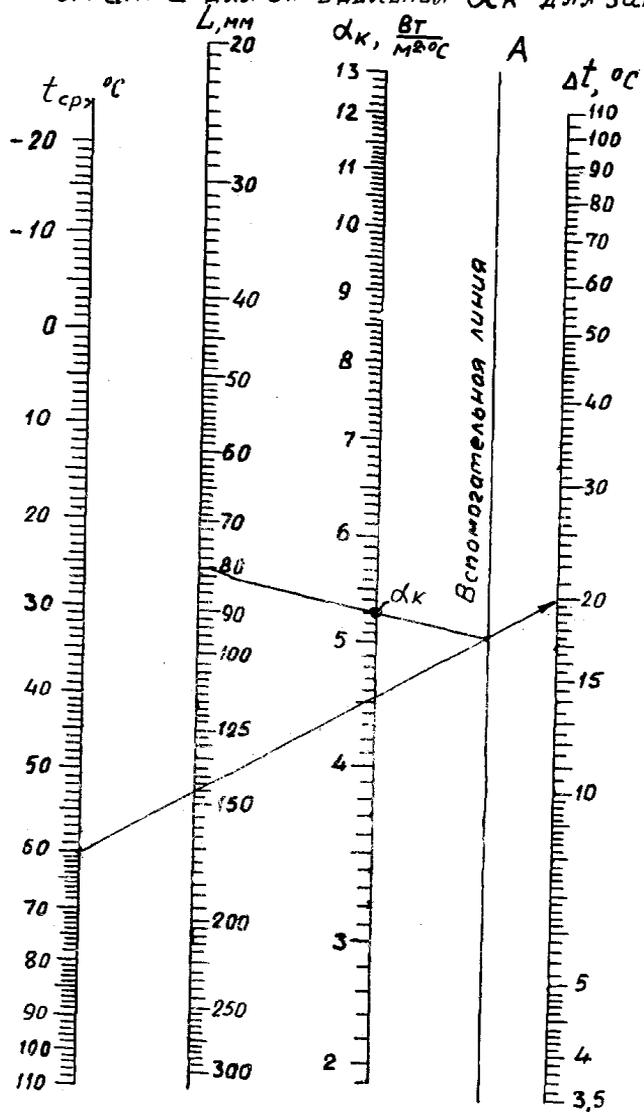


Рис. П6. I

Номограмма для определения  $\alpha_k$  для закона "1/3"

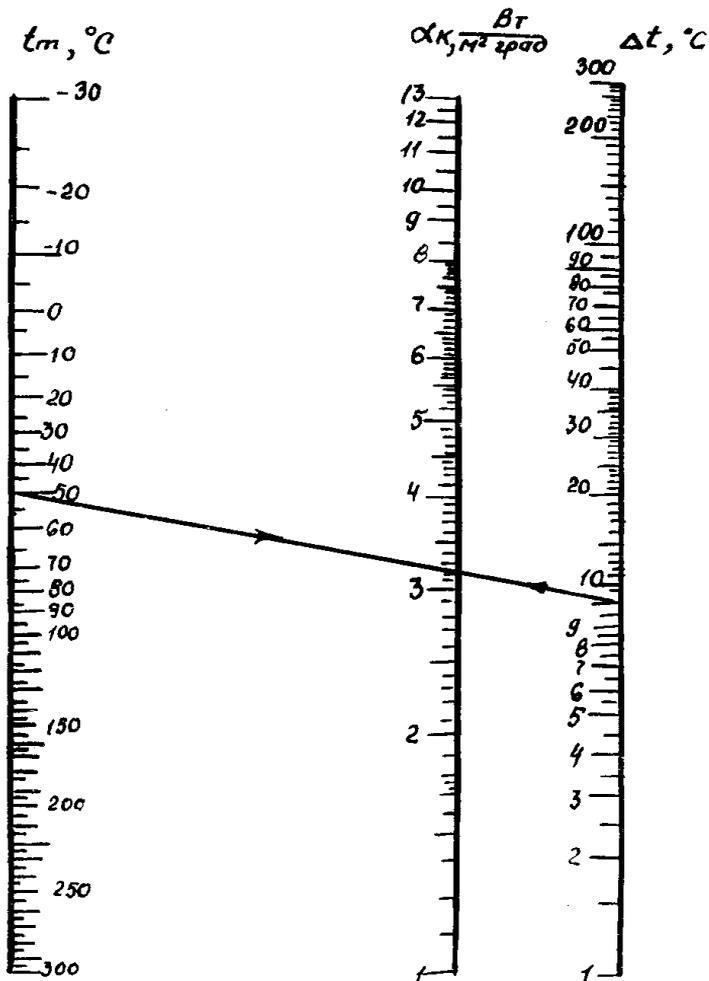


Рис. П6.2

Номограмма для определения  $\alpha_{\Delta}$

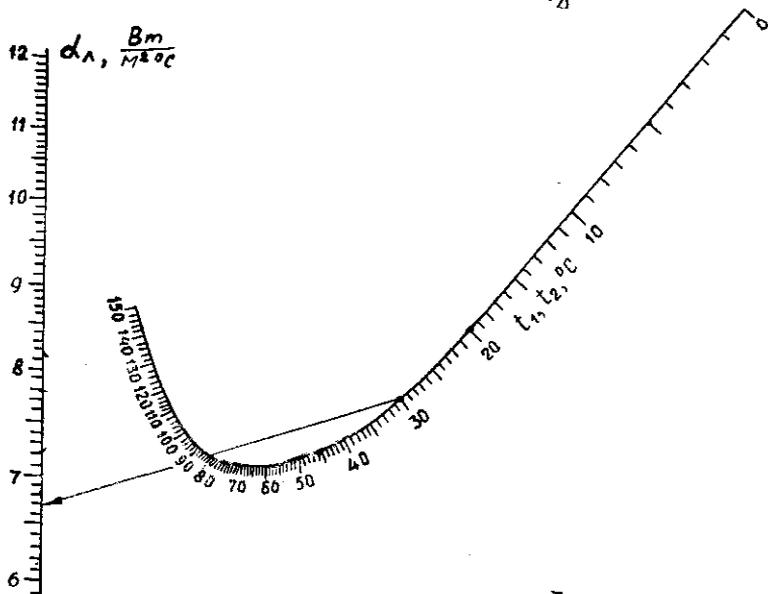


Рис. Пб.3

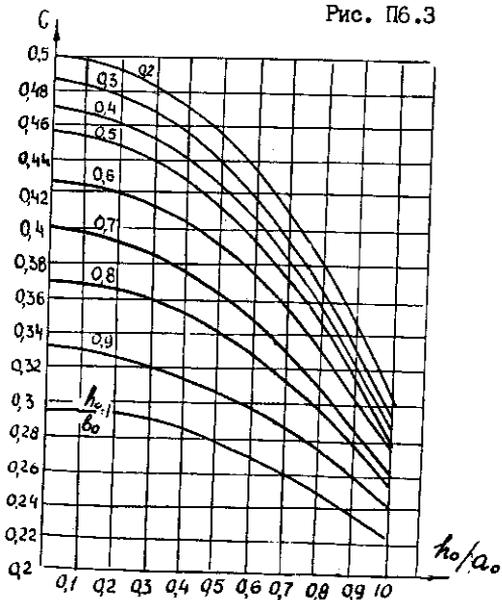


Рис. Пб.4

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ НА АМОРТИЗАТОРЫ

Тип, типоразмер	Номинальная нагрузка, Н	$k_z$ , Н/мм	$k_x$ , Н/мм	Габариты, мм	Допустимый прогиб,	Масса, г	Коэффициент демпфирования, %
АВД-0,75	7,36	432	192				
АВД-1,5	14,7	486	1004				
АВД-2,2	21,6	1010	3520		1,5-4,0		
АВД-3	29,4	2040	5800				
АВД-6	58,9	5400	13800				
АКСС-10	98	117,7	108	35x70x40	0,8	170	
АКСС-15	147	166,8	147	40x70x40	0,8	170	
АКСС-25	245	275	245	55x70x40	0,9	210	
ДК-1-1	4,9	5,9	-	∅32x47	-	1,0	
ДК-1-2	19,6	9,8	-	∅32x47	-	1,4	
ДК-1-3	29,6	13,7	-	∅32x47	-	1,9	0,4-0,5
ДК-2-1	49	19,6	-	∅38x47	-	2,4	
ДК-2-2	98	24,5	-	∅38x47	-	3,2	
ДК-2-3	147	29,4	-	∅38x47	-	4,0	
АД-0,6	6	1,18	-	35x35x26	5,5	25	
АД-1,5	15	1,96	-	48x48x40	7,5	50	
АД-3,0	30	3,92	-	48x48x40	7,0	50	0,06-0,5
АД-5,0	50	6,87	-	48x48x40	7,5	50	
АД-7,0	70	8,83	-	48x48x40	7,5	50	
АД-10,0	100	11,77	-	65x65x42	7,5	135	
АП-1-0,45	4,5	2,9	10	32x32x10			
АП-1-1,8	18	11,5	22,8	32x32x10			
АП-2-2,7	27	17,2	34,2	45x45x6	1,2		0,1
АП-2-4,65	45	28,6	60,0	45x45x16			
АП-3-9	90	57	140,0	57x57x25			

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов В.Ф., Мухин А.А., Назаров А.С. Учебное пособие к лабораторным работам "Конструирование микроэлектронной аппаратуры". - М.: МАИ, 1988.
2. Карпушин В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры. - М.: Сов. радио, 1977.
3. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры: Справочное пособие/П.И. Овсищер, И.И. Лившиц, А.С. Назаров и др.; Под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пестрякова, О.А. Пятлина. - М.: Радио и связь, 1982.
4. Конструирование и расчет БГИС, микросборок и аппаратуры на их основе/Г.В. Алексеев, В.Ф. Борисов, Т.Л. Воробьева и др.; Под ред. Б.Ф. Высоцкого. - М.: Радио и связь, 1981.
5. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости/ А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. - М.: Радио и связь, 1989.
6. Методические указания к практическим занятиям по курсу "Конструирование и технология микросхем и микропроцессоров"/ Авт.-сост. Г.В. Алексеев, Ю.И. Боченков, Э.В. Никифорова; Под ред. Ю.И. Боченкова. - М.: Изд-во МАИ, 1990.
7. Парфенов Е.М., Камышная Э.М., Усачов В.П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1989.
8. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Проектирование электронных вычислительных машин и систем. - М.: Высш. шк., 1986.
9. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов. радио, 1989.
10. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Радио и связь, 1985.
- II. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов/Под ред. В.А. Фролова. - М.: Радио и связь, 1984.
12. Кузьмин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов - М.: Радио и связь, 1985.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Разработка конструкции РЭС .....	3
1.1. Выбор метода конструирования. Унификация и стандартизация при конструировании РЭС. Базовые несущие конструкции .....	3
1.2. Выбор радиотехнических и конструкционных материалов .....	8
1.3. Разработка конструкций микросборок и функциональных ячеек РЭС .....	9
1.4. Разработка конструкций блоков РЭС .....	18
1.5. Расчеты по обеспечению электромагнитной совместимости в конструкциях РЭС .....	37
2. Расчет параметров конструкции РЭС .....	43
2.1. Поверочный расчет тепловых режимов конструкций РЭС .....	43
2.2. Расчет устойчивости конструкций к механическим воздействиям .....	55
Приложения .....	67
Литература .....	95

Тем. план 1991, поз. 63

Борисов Валентин Федорович  
Мухин Андрей Александрович  
Назаров Андрей Сергеевич и др.

## КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Редактор Л.Н. Перцева  
Техн. редактор Е.А. Смирнова  
Корректор Т.Г. Колмакова  
Подписано в печать 7.05.91  
Бум. офсетная. Формат 60x84 I/16. Печать офсетная  
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,87. Тираж 500  
Зак. 2393 /96. Цена 70 к.

Типография издательства МАИ  
125871, Москва, Волоколамское шоссе, 4