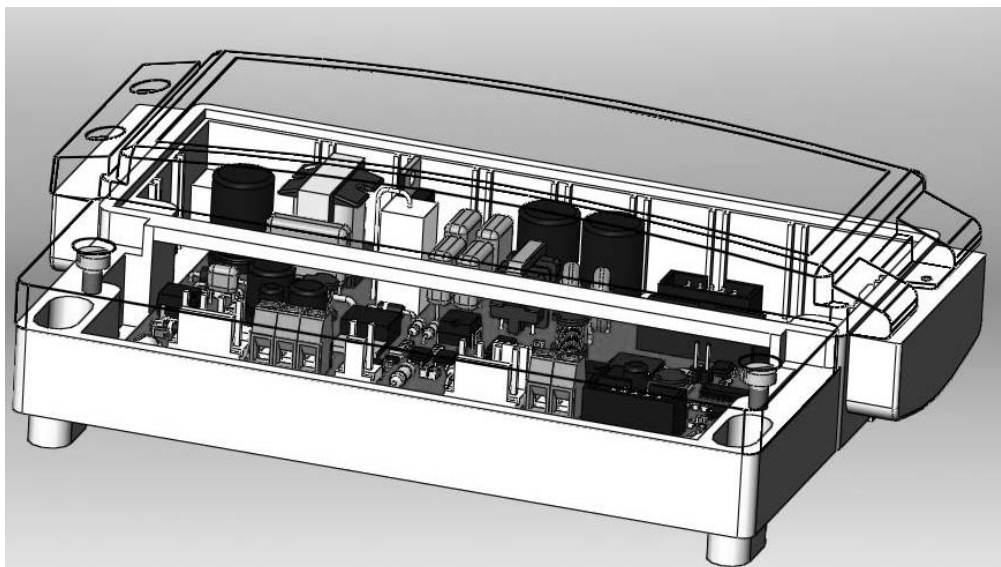


**Е.Б. Романова, О.В. Кузнецова, А.Ю. Кузнецов**  
**ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ**  
**СРЕДСТВ: ПРАКТИКУМ**

**Учебно-методическое пособие**



**Санкт-Петербург**

**2017**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Е.Б. Романова, О.В. Кузнецова, А.Ю. Кузнецов**

**ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ  
СРЕДСТВ: ПРАКТИКУМ**

**Учебно-методическое пособие**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2017**

Романова Е.Б., Кузнецова О.В., Кузнецов А.Ю. Основы конструирования электронных средств: практикум. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 53 с.

В учебно-методическое пособие включены расчеты: габаритных размеров печатной платы, габаритов блока электронного изделия, печатной платы на действие вибрации, толщины печатной платы, печатной платы на действие удара, температуры поверхности электронного изделия, тепловой расчет блока электронного изделия в герметизированном корпусе и расчет надежности блока электронного изделия.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» по дисциплине «Основы конструирования электронных средств».

Рекомендовано к печати Советом мегафакультета КТиУ (протокол №2 от 14 февраля 2017 года).



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2017

© Е.Б. Романова, О.В. Кузнецова, А.Ю. Кузнецов

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
1. Практическое задание №1. Расчет габаритных размеров печатной платы .....	6
2. Практическое задание №2. Расчет габаритов блока электронного изделия.....	14
3. Практическое задание №3. Расчет печатной платы на действие вибрации .....	21
4. Практическое задание №4. Расчет толщины печатной платы .....	27
5. Практическое задание №5. Расчет печатной платы на действие удара..	32
6. Практическое задание №6. Расчет температуры поверхности электронного изделия .....	35
7. Практическое задание №7. Тепловой расчет блока электронного изделия в герметизированном корпусе.....	40
8. Практическое задание №8. Расчет надежности блока электронного изделия.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	50
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Конструирование электронных средств (ЭС) включает конструирование модулей различного уровня, из которых состоит электронное средство. Модуль – это составная часть аппаратуры, выполняющая в конструкции подчиненные функции, имеющая законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженная элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями и с модулями низшего уровня в изделии. Основными модулями ЭС являются: 1) конструктивно неделимый элемент (интегральная микросхема с радиоэлементами ее обслуживания); 2) печатные платы, ячейки, модули, типовые элементы замены (ТЭЗ) – на этом уровне неделимые элементы объединяются в схемные сочетания, имеющие более сложный функциональный признак; 3) конструктивные единицы – блоки, предназначенные для механического и электрического объединения элементов предыдущего уровня; 4) стойки или крупные приборы, внутренний объем которых заполняется конструктивными единицами предыдущего уровня (блоками). В данном пособии рассмотрены практические задания, выполняемые в ходе конструирования печатных плат, ТЭЗ и блоков.

Выполнение практических работ предполагает закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по дисциплине «Основы конструирования электронных средств». При этом студент должен показать навыки обобщения материала в форме выводов.

Цель решения задач состоит в получении практических навыков при выполнении инженерных расчетов, необходимых при конструировании ЭС. В ходе выполнения заданий студент должен освоить расчеты конструкций на механические и климатические воздействия.

Задания предназначены как для самоконтроля студентов по теоретическому курсу, так и для проведения преподавателем текущего контроля знаний студентов. В конце разделов приведены контрольные вопросы по изученному материалу.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Печатная плата** – printed board – изделие, состоящее из плоского изоляционного основания с отверстиями, пазами, вырезами и системой токопроводящих полосок металла (проводников), которое используют для установки и коммутации электронных компонентов и функциональных узлов в соответствии с электрической принципиальной схемой.

**Печатный узел** – печатная плата с подсоединенными к ней электрическими и механическими элементами и (или) другими печатными платами и с выполненными всеми процессами обработки, в соответствии с ГОСТ 20406-75.

**Односторонняя печатная плата** – single-sided printed board – печатная плата, на одной стороне которой выполнены элементы проводящего рисунка.

**Двусторонняя печатная плата** – double-sided printed board – печатная плата, на обеих сторонах которой выполнены элементы проводящего рисунка и все требуемые соединения, в соответствии с электрической принципиальной схемой.

**Многослойная печатная плата** – multilayer printed board – печатная плата, состоящая из чередующихся слоев изоляционного материала с проводящими рисунками на двух или более слоях, между которыми выполнены требуемые соединения.

**Металлизированное отверстие печатной платы** – plated through hole – отверстие в печатной плате с осажденным на стенках проводниковым материалом.

**Толщина печатной платы** – board thickness – толщина материала основания печатной платы, включая проводящий рисунок. Дополнительное осаждение металла не входит в толщину печатной платы.

**Электронное средство** – изделие и/или его составные части, в основу функционирования которых положены принципы радиотехники и электроники.

## 1. Практическое задание №1. Расчет габаритных размеров печатной платы

**Цель работы:** расчет и выбор габаритных размеров конструкции модуля первого уровня (печатной платы)

### Краткие теоретические сведения

В основе конструктивного построения современных электронных изделий (ЭИ) лежит модульный принцип конструирования. Основным модулем ЭИ является печатный узел (ПУ), который определяет основную функциональную нагрузку ЭИ. Процесс проектирования ПУ является наиболее трудоемким этапом жизненного цикла ЭИ и включает следующие этапы: схемотехническое проектирование, конструирование с учетом дестабилизирующих факторов и технологическую подготовку производства [1, 2].

В соответствии с ГОСТ 20406-75 под ПУ понимается печатная плата с подсоединенными к ней электрическими и механическими элементами и (или) другими печатными платами и с выполненными всеми процессами обработки, в соответствии с ГОСТ 20406-75 (рисунок 1). Составляющими печатных узлов являются печатные платы (ПП) (рисунок 2). Печатная плата – это пластина с проводящим рисунком, но зачастую в интернете и на практике под термином ПП понимают пластину с проводящим рисунком и установленными на ней электронными компонентами (микросхемами, разъемами и т.д.)

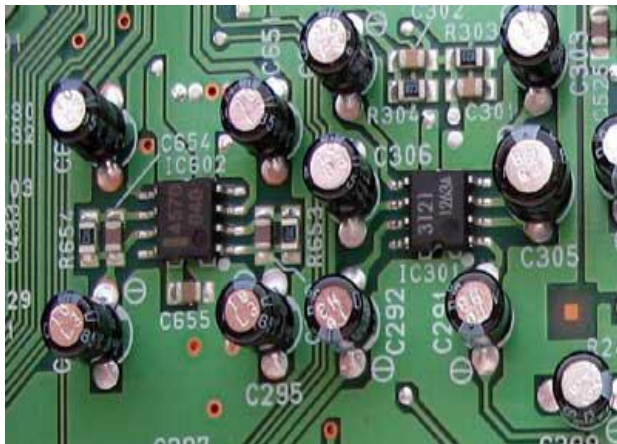


Рисунок 1 – Печатный узел

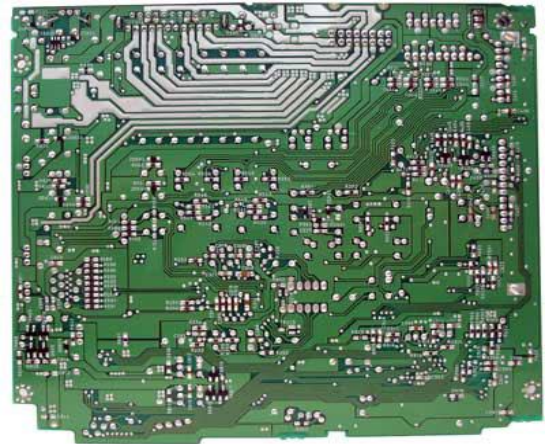


Рисунок 2 – Печатная плата

Печатная плата является несущей конструкцией модуля 1-го уровня (ячейки, ТЭЗ). В общем случае число типоразмеров ПП в одном изделии необходимо ограничивать. Данное требование связано со значительным снижением затрат на производство ПП. В большинстве случаев при использовании при проектировании модульного принципа конструирования размеры и форма ПП определяются системой унифицированных типовых

конструкций модулей. Применение унифицированных базовых несущих конструкций (УБНК) обеспечивает совместимость модулей по конструктивным, электрическим и эксплуатационным требованиям, сокращает сроки и стоимость проектирования и производства изделий [3].

Размеры ПП ячеек, устанавливаемых в аппаратуру с применением УБНК, приведены в ОСТ 4ГО.410.223 (170 ×75; 170×110; 170×150; 170×200) и в международных стандартах МЭК 297 (IEC 297-3) на 19-дюймовые конструкции и метрический МЭК 917 ((IEC 917-2-2).

При выборе и расчете типоразмера печатной платы необходимо обратить внимание на:

- характеристики электронных компонентов (ЭК), а именно: число устанавливаемых на плату ЭК, тип корпуса, вариант установки, число задействованных выводов, количество поверхностно-монтируемые компоненты (ПМК) и их установочные площади;
- способ установки ЭК на ПП, так как максимальные размеры сторон ПП, предназначенные для автоматической установки ЭК выбираются с учетом технических характеристик оборудования (размера стола), используемого для установки ЭК;
- уровни паразитных связей между элементами печатного монтажа, так как при неправильно выбранных расстояниях между ЭК могут возникнуть перекрестные помехи между сигнальными линиями связи, паразитные связи по цепям питания и заземления, искажения форм сигнала в линиях связи;
- эксплуатационные характеристики, так как собственная частота ПП, зависящая от ее длины, ширины, толщины, массы устанавливаемых ЭК, плотности материала ПП, массы ПП, способа закрепления ПП в модулях более высоких конструктивных уровней, не должна находиться в спектре частот внешних вибрационных воздействий;
- технико-экономические показатели.

Установочную площадь ЭК определяют как площадь прямоугольника, размеры которого зависят от внешних предельных очертаний установочной проекции ЭК на поверхность ПП, включая отформованные выводы.

При конструировании ПП в первую очередь необходимо определиться с габаритными размерами ПП. Габариты ПП могут быть: заданы в техническом задании (ТЗ); определены исходя из выбранной конструкции блока; рассчитаны перед компоновкой; рассчитаны после компоновки компонентов на плате.

Если габаритные размеры ПП не заданы в ТЗ, то необходимо:

- рассчитать габаритные размеры ПП;
- скомпоновать конструкторско-технологические зоны для размещения на печатной плате ячейки:
  - ЭК или поверхностно-монтируемых компонентов;
  - элементов контроля функционирования;



- элементов электрического соединения (например, соединители);
- элементов крепления;
- элементов фиксации ячейки в модулях более высокого конструктивного уровня;
- выбрать толщину ПП;
- определить число слоев и толщину ПП.

При расчете габаритных размеров необходимо придерживаться ГОСТов, ОСТов и других нормативных документов, а также возможностей завода-изготовителя.

Размеры сторон печатных плат по ГОСТ 10317-79:

- размеры каждой стороны ПП должны быть кратными: 2,5 - при длине до 100 мм; 5,0 - при длине до 350 мм; 10,0 - при длине более 350 мм. Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм;
- соотношение линейных размеров сторон ПП должно быть не более 3:1;
- существуют таблицы рекомендуемых размеров ПП.

Требование по габаритам ПП от ООО "Резонит" (одна из ведущих фирм по изготовлению ПП в г. Санкт-Петербурге, г. Москве) на одно- и двусторонние ПП:

Максимальный размер ПП:

- 380x320 мм для ПП толщиной более 1,0 мм (обычно толщина двухслойных ПП=1.5 мм);
- 173x285 мм для ПП толщиной 0,5-0,8 мм.

При разработке оригинальных конструкций электронных изделий и, соответственно, ПП возможны два варианта выбора типоразмера ПП:

1. путем ориентировочной оценки площади ПП (на ранней стадии разработки);
2. при помощи компоновки и расчета конструкторско-технологических зон на ПП для установки ЭК, электрических соединителей, элементов контроля, крепления и фиксации.

**Задание №1.** Рассчитать ориентировочную площадь ПП и выбрать рекомендуемые линейные размеры ПП.

Ориентировочна площадь ПП на ранних стадиях проектирования и при разработке моноконструкции ячейки можно определить по следующей формуле:

$$S_{\Sigma} = k_S \sum_{i=1}^n S_{yi}$$

где  $S_{yi}$  – установочная площадь  $i$ -го ЭК;  $k_S$  – коэффициент, зависящий от назначения и условий эксплуатации аппаратуры (коэффициент дезинтеграции,  $k_S = 1-3$ );  $n$  – количество ЭК.

Расстояние между корпусами двух соседних ЭК на ПП должно быть не менее 1 мм, а расстояние по торцу – не менее 1,5 мм.

Метод проектирования моноконструкций применяется для создания блоков, ЭИ на основе оригинальной несущей конструкции в виде моноузла. Данный подход увеличивает себестоимость, время проектирования, ограничивает возможности типизации и унификации, но позволяет существенно улучшить технические параметры ЭИ.

Зная площадь ПП, максимально допустимую длину проводника, задаваясь соотношением сторон ПП, можно определить ее размеры по ГОСТ 10317–79 (см. таблицу 1.). Предельные отклонения на сопрягаемые размеры контура ПП и гибких печатных кабелей должны быть не выше 12 квалитета, а на несопрягаемые – не выше 14 квалитета по ГОСТ 25347–82.

Таблица 1 – Рекомендуемые линейные размеры ПП

Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	
20	30	60	90	100	120	140	150	
	40		100		130		200	
30	40		140	110	150	150	150	
			160		170		170	
40	60	75	75	120	120		180	
45	75		90		140		200	
	80		170		150	170		
50	60		80		130	120	160	160
	80	140		170	180			
	100	90	90	170	180		170	200
	150		120		200		280	
60	60	90	150	130	200	200	360	
	80		170					

**Задание №2.** Рассчитать площадь ПП, скомпоновать конструкторско-технологические зоны для размещения на ПП ячейки ЭК, элементов контроля функционирования электрического соединения, крепления и фиксации ячейки, а также выбрать линейные размеры ПП и оценить возможность размещения микросхем на плате. Варианты заданий смотри в таблице 4.

Под компоновкой функционального узла понимают процесс размещения ЭК, деталей на ПП и определение ее геометрических форм и размеров.

Площадь и геометрические размеры ПП (длину  $L_x$  и ширину  $L_y$ ) можно определить исходя из компоновки конструкторско-технологических зон для размещения на ПП ячейки ЭК, элементов контроля функционирования электрического соединения, крепления и фиксации ячейки, размеров краевых полей. Для определения геометрических размеров ПП ( $L_x$  и  $L_y$ ) необходимо

учесть размеры всех конструкторско-технологических зон, представленных на рисунке 3.

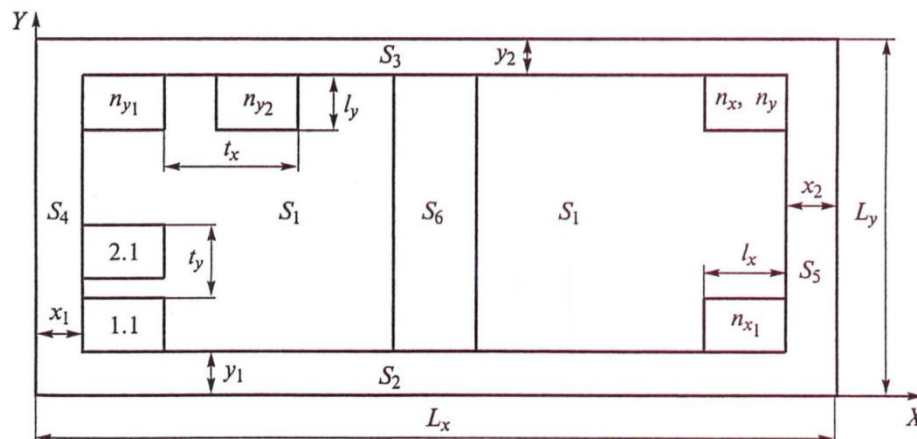


Рисунок 3 – Пример расположения конструкторско-технологических зон и краевых полей на ПП:  $S_1$  – зона размещения ЭК;  $S_2$  – зона размещения элементов электрического соединения: соединителя, контактных площадок, колодок для установки гибких печатных кабелей, тканых или опрессованных плоских ленточных проводов;  $y_1$  – ширина зоны  $S_2$ ;  $S_3$  – зона расположения элементов крепления ячейки и контроля (контрольные колодки с контактными площадками и штырями, одиночные пистоны и контакты);  $y_2$  – ширина зоны  $S_3$ ;  $S_4$  и  $S_5$  – зоны, предназначенные для установки ячеек в блок;  $x_1$  и  $x_2$  – ширина зоны соответственно;  $S_6$  – зона для расположения дополнительных элементов крепления ячейки (при необходимости)

Геометрические размеры ПП определяют по следующим 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 интегральных микросхем (ИМС) на ПП по осям  $x$  и  $y$  (см. таблица 2),  $l_x, l_y$  – размеры корпусов ИМС;  $x_1, x_2, y_1, y_2$  – краевые поля ПП (см. таблица 3),  $n_x, n_y$  – количество ИМС, установленных по осям  $x$  и  $y$ .

Оценить возможность размещения микросхем на ПП можно следующим образом. На плате цифровой функциональной ячейки корпуса микросхем размещаются в правильном порядке по строкам и столбцам (рисунок 3.) При выбранных размерах платы  $L_x$  и  $L_y$  число микросхем в строке  $n_x$  и столбце  $n_y$  для односторонней установки могут быть найдены по формулам:

$$n_x = E \left[ \frac{L_x - l_x - x_1 - x_2}{t_x} \right] + 1, \quad n_y = E \left[ \frac{L_y - l_y - y_1 - y_2}{t_y} \right] + 1,$$

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

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

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

где  $d_{\text{пл}}$  – толщина печатной платы.

Краевое поле  $y_1$  предназначено для размещения элементов электрического соединителя или контактных площадок для пайки проводников внутриблочных электрических соединений. В поле  $y_2$  могут устанавливаться передняя панель ячейки, контрольная колодка, металлический угольник и др. Поэтому ширина полей  $y_1$  и  $y_2$  определяется геометрическими размерами ЭК. Справочные данные для расчета  $n_x$  и  $n_y$  представлены в таблицах 2, 3. Линейные размеры платы выбраны верно, если выполняется условие  $n_x * n_y \geq n$ . В случае невыполнения неравенства выбирается плата с большими размерами.

Таблица 2 – Примеры установки корпусных ИМС (традиционная элементная база) при одностороннем размещении на двухслойную ПП или двустороннем размещении на МПП при числе слоев не менее четырех

Обозначение корпуса по ОСТ 4.010.030–81, и по ГОСТ 17467-79	Габариты корпуса $l_x \times l_y \times h_k$	Масса, г	Размер установ-ой площади, мм <sup>2</sup>	Среднее число задейст-ых выводов	Шаг установки ИС по осям, мм	
					$t_x$	$t_y$
157.29-1	39×29×5	14,4	29×39	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
201.14-8	19,5×7,5×4	2,4	7,5×19,5	8	22,5	12,5
				9	22,5	15,0
				11	25,0	15,0
				12	25,0	17,5
				14	27,5	17,5
401.14-3 (4,5)	9,8×6,5×2,3	11,0	9,8×13,5	10	12,5	15,0
				11	12,5	17,5
				12	15,0	17,5
				14	15,0	20,0
402.16-1	12,0×9,5×2,5	1,0	12,0×8	14	12,5	20,0
1203.14-5	15,6×6,2	1,6	15,6×12,4	8	22,5	15,0
				9	22,5	17,5
				11	25,0	17,5
				12	25,0	20,0
1206.14-5	19,5×22×5,0	2,8	14,0×13,7	8	22,5	25,0

				10	25,0	25,0
				12	27,5	25,0
				14	29,0	25,0
1207.14-5	19,5×29,5×5,0	6,5	4,0×21,2	8	22,5	32,5
				10	25,0	35,0
				12	27,5	37,5
				14	29,0	39,0

Таблица 3 – Размеры краевых полей для установки элементов электрического соединения ( $y_1$ ), для размещения элементов контроля, ручек и съемников ( $y_2$ ), печатной платы ( $x_1, x_2$ )

Элемент электрического соединения	Минимальное краевое поле для корпусов $y_1$ , мм		
	155.36-1; 157.29-1	201.14-1; 201.14-8; 209.14-1; 209.14-1; 244.48-1	401.14-3,4; 402.16-1,2; 421.10-1,2; 421.50-1
ГРПМ9-У	22,5	20,0	20,0
ГРПМ9-Н	20,0	17,5	17,5
ГРППЗ	20,0	17,5	15,0
ГРПМ1-ШУ, ГРПМ1-ГУ	27,0	25,0	25,0
РППМ	22,5	20	17,5
СНП58	20,0	17,0	17,0
СНП59	21,0	18,5	18,5
СНП34 на 135 контактов	17,5	15,0	15,0
Кабель гибкий печатный	27,5	25,0	25,0
Кабель тканый и опрессованный	27,5	25,0	25,0
Жгут объемный	37,5	35,0	35,0
Элемент контроля	Тип корпуса микросхем		
	155.36-1; 157.29-1	201.14-1; 201.14-8; 209.24-1; 244.48-1	401.14-3,4; 402.16-1,2; 421.40-1; 421.50-1
Размер краевого поля $y_2$ , мм			
Колодка: с запайкой штырей в отверстия; с контактными площадками	15,0	12,5	12,5
Одиночные пистоны и контакты	12,5	10,0	10,0
Тип корпуса	Минимальные краевые поля $x_1, x_2$ , мм, при толщине ПП		
	до 1 мм		до 2 мм
151.15	5,0		5,0
155.36	7,5		7,5
157.29-1	5,0		7,5
201.14-8	2,5		5,0
301.12	2,5		5,0
401.14-3	5,0		5,0
402.16-1	5,0		5,0

Таблица 4 – Варианты заданий для расчета габаритных размеров печатной платы

№	ЭК, размещаемые на плате				Коэфф-т дезинт-ии	Зазор между ЭК, мм	Расст-е по торцу	$d_{пл}$ , мм
	Разъем		Микросхемы					
	Тип корпуса	Кол-во	Тип корпуса	Кол-во				
1.	ВН-10	5	DIP16	8	1,5	7,5	2	1,5
2.	IDC-10MS	3	QFP-44	6	1,6	8,75	3	1,5
3.	ГРПМШ2-32	2	SO14	14	1,7	10	4	1,5
4.	ОНП-ВГ-18	2	SO16	10	1,8	11,25	5	1,5
5.	ГРПМ2-46	3	SOIC14	18	1,9	12,5	6	1,5
6.	СНП58	2	QFP-28	20	2,0	7,5	7	1,5
7.	СНО64	1	TSOP24	10	2,1	8,75	8	1,5
8.	ППИС	3	SOT523-1-9	12	2,2	10	9	1,5
9.	ОНП-ВГ-1-32	1	DIP32	3	2,3	11,25	10	2,0
10.	СНО32	2	SDIP32	4	2,4	12,5	2	2,0
11.	СНП-72	1	SIP8	20	2,5	7,5	3	2,0
12.	ГРПМШ1-32	3	SOT243-1-17	8	2,6	8,75	4	2,0
13.	ВН2-34	3	ZIP-24	10	2,7	10	5	2,0
14.	ВН-24	4	QFP-32	14	2,8	11,25	6	2,0
15.	СНО48	1	TSOP28	6	2,9	12,5	7	2,0

### Контрольные вопросы

1. Что понимается под печатным узлом согласно ГОСТ 20406-75?
2. Какова последовательность действий для определения габаритных размеров ПП, если они не заданы в ТЗ?
3. На что необходимо обратить внимание при выборе и расчете типоразмеров ПП?
4. Какие Вы знаете варианты выбора типоразмеров ПП при разработке оригинальных конструкций ПП?
5. Каким должно быть расстояние между соседними ЭК на ПП?
6. Какие требования необходимо учитывать при компоновке и размещении ЭК?
7. Какие рекомендации Вы могли бы дать по размещению ЭК на ПП?
8. Какими ГОСТами и ОСТАми регламентируются правила установки ЭК?
9. Каким должно быть минимальное расстояние между контактными площадками поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК)?

## 2. Практическое задание №2. Расчет габаритов блока электронного изделия

**Цель работы:** расчет и выбор габаритных размеров конструкции блока электронного изделия

### Краткие теоретические сведения

Электронный блок состоит из нескольких функциональных ячеек (ФЯ). ФЯ является наиболее трудоемкой структурной единицей при проектировании ЭИ. По своему конструктивному назначению ФЯ предназначены для установки в блоки. Поэтому вариант конструктивного исполнения ячейки характеризуется вариантом конструкции блока. Существуют три основных варианта конструкции блоков: разъемный, книжный и кассетный. Наиболее популярным при проектировании ЭИ является разъемная конструкция блоков и наименее, из-за низкой технологичности, - кассетная.

Конструктивно ячейки подразделяются по различиям в несущих конструкциях. Это различие, прежде всего, заключается в наличии или отсутствии рамок, предназначенных для улучшения эксплуатационных параметров. В некоторых случаях наличие рамок может полностью или частично исключить деформацию ПП, которая возникает в ней в процессе как изготовления, так и при эксплуатации под действием внешней среды, неравномерности нагревания печатных проводников при прохождении через них электрического тока. Поэтому выбор варианта исполнения (рамочный или безрамочный) должен осуществляться на первом этапе проектирования, исходя из требований к механическим воздействиям, а также с учетом линейных размеров ПП [1,3].

Функциональная ячейка, которая включает ПП и переднюю панель (а также может включать рамку жесткости и др.), называется типовым элементом замены (ТЭЗ) (рисунок 4).

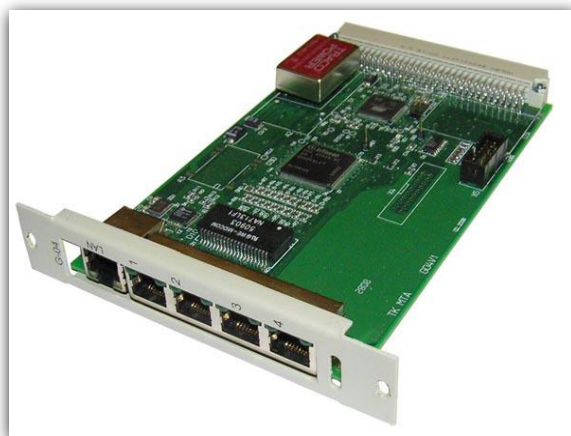


Рисунок 4 – Типовой элемент замены

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 (рисунок 5), ленточных проводов, кабелей, шлейфов, жгутов – книжный (рисунок 6) и редко верной конструкции блока.

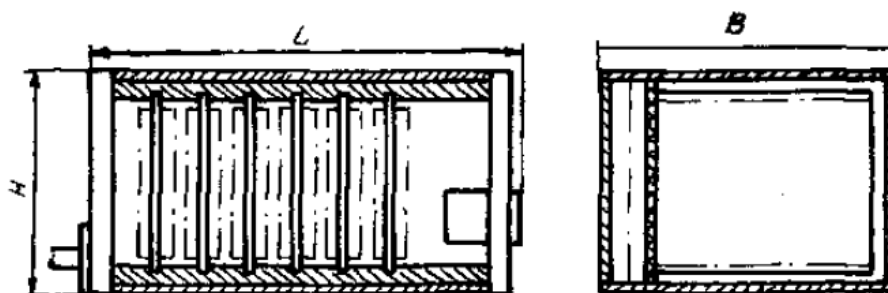


Рисунок 5 – Разъемная конструкция блока

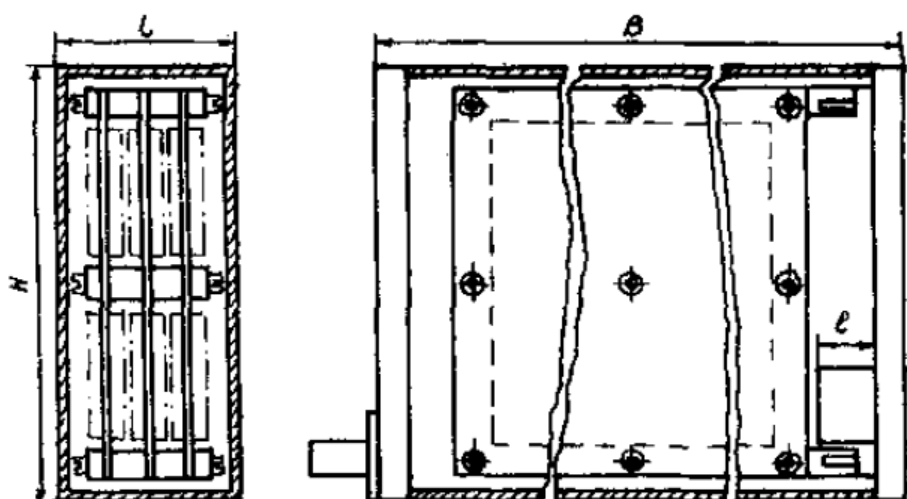


Рисунок 6 – Книжный вариант конструкции блока

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 на них. Книжная конструкция позволяет предельно уменьшить массу и габариты блока [3]. 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 позволяет уменьшить зазоры до 2 мм, однако на 10–15% увеличивается объем блока за счет установки вентилятора и воздуховодов.

Полезный объем блока можно условно представить в виде четырех объемов (рисунок 7):  $V_1$  - 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  $V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

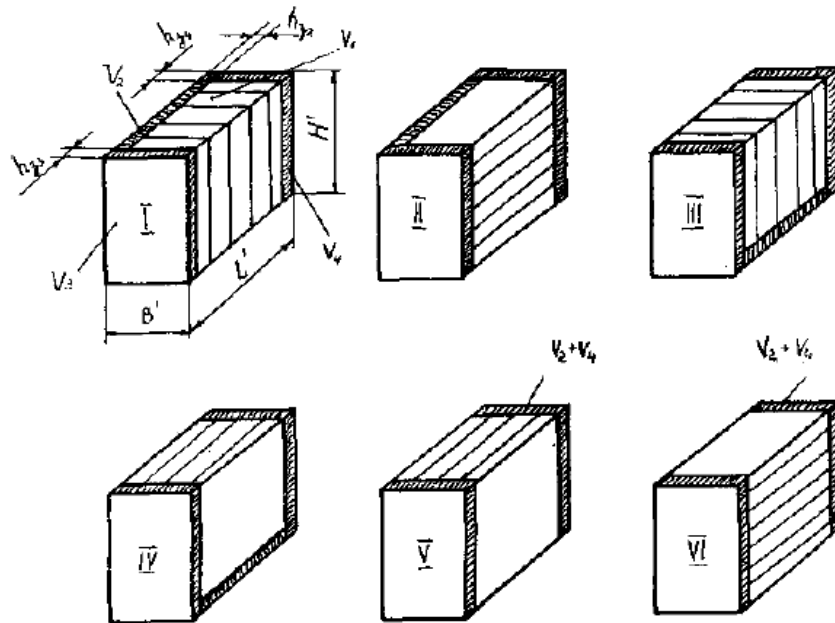


Рисунок 7 – Полезный объем блока

Качество конструкции в большей степени будет зависеть от соотношения объемов  $V_1$  и  $V_2$ . Объем  $V_1$  определяется объемом ФЯ, их количеством и шагом установки в блоке. В блоках электронных устройств, как правило  $L' > H'$ ,  $L' > B'$  и  $H' \geq B'$ . Отсюда получаем следующие зависимости:

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

Варианты II 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 корпуса возможны трудности при трассировке III и увеличение паразитных связей печатного монтажа. Вариант IV может использоваться в случае принудительного охлаждения при установке вентилятора на заднюю или лицевую панель. Вариант V предпочтительнее при набегающем воздушном потоке снизу.

Для разъемной конструкции целесообразно использовать при естественной конвекции вариант компоновки III, а при необходимости использования принудительного охлаждения – вариант I [4].

**Задание №1.** Рассчитать ориентировочные габариты и выбрать типоразмер блока электронного изделия.

Рассмотрим методику оптимального синтеза конструкции электронного устройства на корпусных интегральных микросхемах с использованием базовых несущих конструкций (БНК). Особое внимание уделяется конструкциям книжного и разъемного типов. Синтез конструкции блока проводится с целью определения размеров внутреннего объема блока по каждому типоразмеру ПП, позволяющей разместить необходимое количество интегральных микросхем, входящих в электрическую принципиальную схему ФЯ и выбора соответствующих типоразмеров блоков из ряда БНК.

Конструкция ФЯ электронного устройства на корпусных интегральных микросхемах представлена на рисунке 8. 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;  $\Delta_{пл}$  – толщина печатной платы;  $H_c$  – высота электрического соединителя;  $H_3$  – высота интегральной микросхемы;  $H_m$  – высота механических конструкций (рамки, планки и т.п.) или пайки;  $H_k$  – высота элементов крепления и контроля ФЯ;  $t_я$  – шаг установки ФЯ в блоке;  $h_я$  – высота ФЯ, определяемая высотой наиболее выступающего элемента конструкции ( $H_c$  или  $H_k$ ).

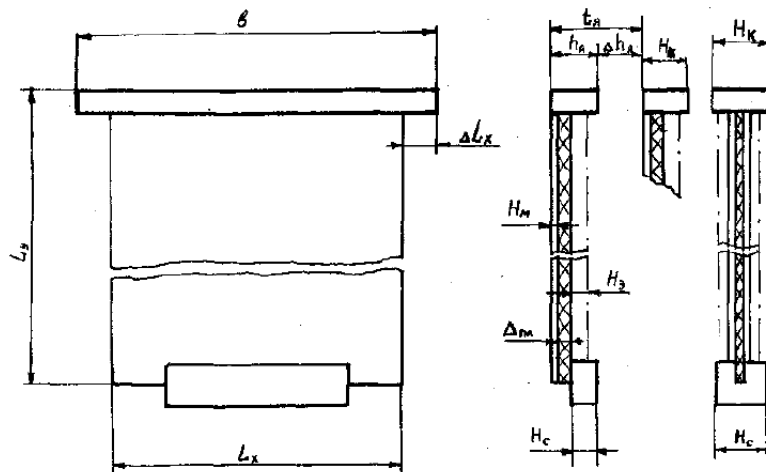


Рисунок 8 – Пример конструкции функциональной ячейки

Шаг установки ФЯ  $t_я = h_я + \Delta h_я$ , где  $\Delta h_я$  – зазор между ФЯ. Глубина пакета ФЯ в блоке  $a = t_я * n_{фя}$ , 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 платок  $\Delta L_x = 4$  мм.

Обычно высота интегральных микросхем  $H_3$  меньше  $H_c$  и  $H_k$ . При  $H_c > H_k$  и одностороннем размещении интегральных микросхем высота ФЯ  $h_{я} = H_m + \Delta_{пл} + H_c$ . При двустороннем размещении интегральных микросхем  $h_{я} = H_c$ . Геометрические размеры внутреннего объема блока определяются вариантом компоновки блока, типом внутриблочных и межблочных электрических соединителей, типом электронных компонентов, устанавливаемых на лицевой панели. Введем обозначения:  $h_{32}$  – глубина зоны межъячеечного монтажа, определяемая типом электрического соединителя;  $h_{33}$  – глубина зоны 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 размеры внутреннего объема блока:  $B' = h + h_{32}$ , высота  $H' = b$ , глубина  $L' = a + h_{33} + h_{34}$ ; (вариант III)

$$B' = b, H' = h + h_{32},$$

$$L' = a + h_{33} + h_{34}.$$

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

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

По значениям  $B'$ ,  $H'$ ,  $L'$  выбираются типоразмеры блока из ряда БНК для разрабатываемого класса аппаратуры.

Существенным этапом в синтезе конструкции блока является совмещение вторичного источника питания (ВИП) с конструкцией ФЯ и блок в 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 интегральные микросхемы собирают в ФЯ с размерами  $b_x h_x h_{я}$  (рисунок 9, а) ФЯ объединяют в блоки размером  $b_x h_x a$  (рисунок 9, б), где размер  $a = h_{я} n$  соответствует глубине стойки, в которую устанавливаются блоки;  $n$  – число ФЯ. В этом случае функциональные узлы ВИП на малогабаритных ЭК могут быть выполнены в виде ячеек, а на крупногабаритных ЭК, требующих объемного конструирования – в габаритах блока  $b_x h_x a$  или его части  $b_x h_x m$ , где  $m = h_{я} k$ ;  $k$  – число ячеек ВИП  $k < n$ . Тогда возможна конструкция блока, в составе которого ВИП сочетается с  $(n-k)$  ФЯ (рисунок 9, в) или в габаритах кратных габаритам блока по размеру  $b(b_{px} h_x a)$ . При этом возможны конструктивные решения, в которых  $p < 1$  ( $p=0,25; 0,5$ ) (рисунок 9, г); и  $p > 1$  ( $p=2; 3, \dots$ ) (рисунок 9, д);

с соблюдением условия, что размер  $b_{рх}$  должен быть менее ширины блока, допустимый по ТУ.

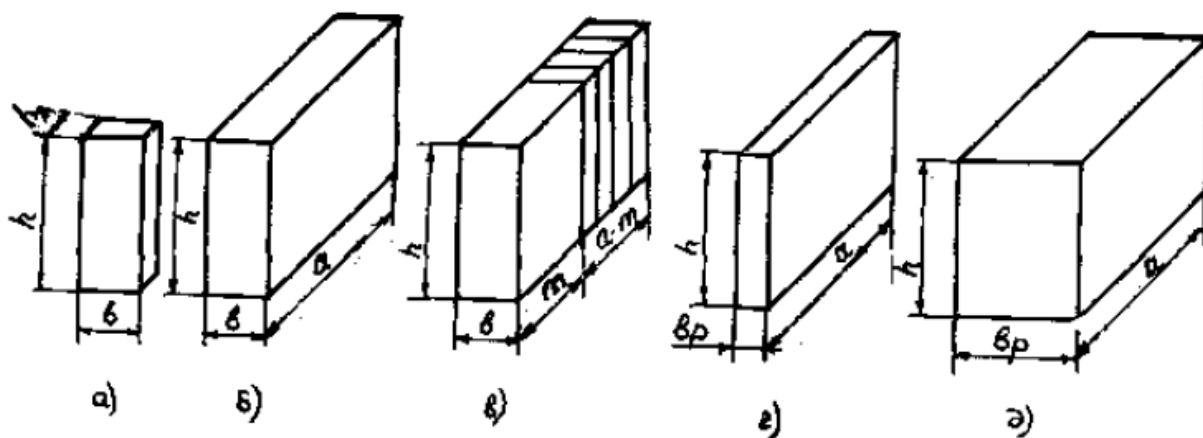


Рисунок 9 – Функциональные ячейки различных размеров

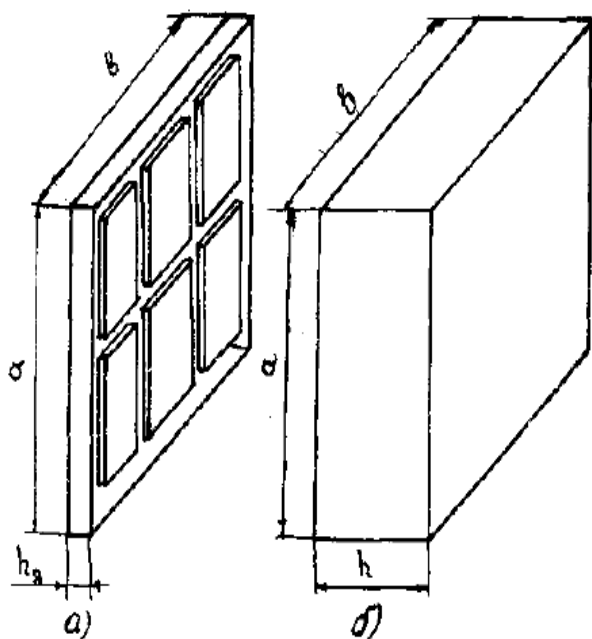


Рисунок 10 – Функциональная ячейка, объединенная в плоские блоки

Если же ФЯ размером  $a_x b_x h_{я}$  объединяют в плоские блоки размером  $a_x b_x h$  (рисунок 10), то функциональные узлы ВИП на крупногабаритных элементах могут быть выполнены в виде блоков с габаритными размерами  $a_x b_x h'$ , где  $h' = h_{я} g$  и  $g = 2, 3, \dots$  с соблюдением условия, что размер  $h_{я} g$  меньше ширины блока допустимой по ТУ [4]. Минимальные значения  $p$  и  $g$  определяют из предположения, что размеры  $b p_{min}$  и  $h_{я} g_{min}$  должны быть больше минимального из размеров наиболее крупногабаритного ЭК, размещаемого в ВИП, с учетом необходимых конструктивных элементов (радиаторов, креплений и т.д.).

Размеры печатной платы и электронных компонентов необходимо использовать из предыдущего задания. Обратите внимание, что в предыдущем расчете  $L_x$  – это длина, а в данном расчете  $L_y$  – это ширина. Остальные значения выбираются из таблицы в соответствии с вариантом.

Таблица 5 – Варианты заданий для расчета габаритных размеров блока электронного изделия

№	Тип конструкции блока	Толщина платы, $\Delta_{пл}$ , мм	Ширина панели, $H_{к}$ , мм	Зазор между ФЯ, $\Delta h_{я}$ , мм	Колич-во ФЯ в блоке $n_{фя}$ , шт	Высота пайки, $H_{м}$ , мм
1	Стеллажный	1,5	10	9	5	1,5
2	Книжный	1,6	12	10	6	1,5
3	Стеллажный	1,7	14	7	7	1,5
4	Книжный	1,8	16	8	5	1,5
5	Стеллажный	1,9	18	9	3	1,5
6	Книжный	2	20	10	4	1,5
7	Стеллажный	2,1	10	5	5	1,5
8	Книжный	2,2	12	6	6	1,5
9	Стеллажный	2,3	14	7	3	1,5
10	Книжный	2,4	16	8	8	1,5
11	Стеллажный	2,5	18	9	5	1,5
12	Книжный	1,5	20	10	6	1,5
13	Стеллажный	1,6	10	5	7	1,5
14	Книжный	1,7	12	6	4	1,5
15	Стеллажный	1,8	14	7	5	1,5

### Контрольные вопросы

1. Какие варианты конструкций блоков электронных изделий Вы знаете? Приведите пример наиболее популярного варианта конструкции?
2. От чего зависит выбор исполнения (рамочный или безрамочный) конструкции функциональной ячейки?
3. От чего зависит величина зазора между функциональными ячейками и элементами конструкции корпуса блока?
4. Как элементы коммутации влияют на габаритные размеры корпуса блока?
5. Какой вид конструкции блока обеспечивает лучшие массогабаритные характеристики, а какой обеспечивает лучшую ремонтопригодность?
6. Какой вид охлаждения позволяет достичь минимальных зазоров между элементами?
7. Как определяется полезный объем конструкции блока?
8. Какие варианты предпочтительнее для книжной конструкции блока при естественной конвекции и при принудительном охлаждении, а какие для разъемной конструкции?

### 3. Практическое задание №3. Расчет печатной платы на действие вибрации

**Цель работы:** оценить удовлетворяет ли печатная плата требованиям технического задания на вибропрочность

#### Краткие теоретические сведения

В процессе эксплуатации ПП в составе ФЯ и блока подвергается механическим воздействиям, к которым относятся вибрации, удары и линейные перегрузки. Под вибрацией понимают механические колебания элементов конструкции или конструкции в целом. Вибрация характеризуется виброперемещением, виброскоростью и виброускорением.

Характерным видом отказов электронных компонентов (ЭК) при вибрационных воздействиях является усталостное разрушение (необратимое) выводов в области изгиба и соединения с контактной площадкой ПП в результате возрастания механических напряжений при резонансных колебаниях ЭК или резонансных колебаниях ПП, на которой установлены ЭК. Первый случай относится к условиям силового возбуждения механической колебательной системы, второй – к условиям кинематического возбуждения [1].

Поэтому, проводя проработку компоновки ячейки электронной аппаратуры, конструктор должен обеспечить вибропрочность, виброустойчивость и отсутствие резонанса ЭК в рабочем диапазоне частот.

**Вибропрочность** – способность конструкции выполнять функции и сохранять значения параметров в заданных пределах после воздействия вибраций.

**Виброустойчивость** – способность конструкции выполнять функции и сохранять значения параметров в заданных пределах во время воздействия вибраций.

Условиями обеспечения вибропрочности ячейки являются:

- отсутствие в конструкции ячейки механических резонансов;
- отсутствие ограничения значений амплитуды виброперемещения и виброскорости, исключающих опасные напряжения и усталостные явления в ЭК и ПП;
- превышение допустимыми значениями виброперегрузок в диапазоне частот внешних воздействий величины, заданной в техническом задании на разработку конструкции электронной аппаратуры.

Таким образом, оценка вибропрочности ячейки выполняется по следующим показателям:

- частоте свободных колебаний;
- допустимому значению напряжения в материале ЭК и ПП и предельному числу циклов нагружения;
- допустимому значению виброперегрузки.

При расчете частот свободных колебаний в качестве расчетной модели ячейки используется модель пластины с равномерным распределением массы.

**Задание №1.** Провести расчет печатной платы на действие вибрации, сделать выводы.

Печатная плата в составе ФЯ и блока может быть предназначена для работы в стационарных условиях. Это означает практически полное отсутствие механических воздействий, поэтому расчеты на виброустойчивость и удароустойчивость лишены смысла. Механические воздействия имеют место лишь при транспортировке.

Блок транспортируется в собранном упакованном и законсервированном виде автомобильным, железнодорожным (в закрытых транспортных средствах), водным (в трюмах судов) или авиационным транспортом (в герметизированных контейнерах).

Целью расчета является определение действующих на ЭК и ПП перегрузок при действии вибрации, а также максимальных перегрузок и проверка этих ЭК и ПП на вибропрочность.

**Исходные данные:** в качестве размеров ПП необходимо использовать размеры полученные при выполнении практического задания №1, диапазон действующих вибраций  $\Delta f$ , значение следует взять из таблицы 7 согласно варианту, виброускорение  $a_0 = 19,6 \text{ м/с}^2$ . Способ закрепления платы следует взять из таблицы 8 согласно варианту.

Крепление платы к опоре может быть жестким или подвижным. На рисунке 11 представлен вариант закрепления ПП: боковые стороны ПП расположены в направляющих, считаются опертными, на третьей стороне ПП расположена вилка разъема, на четвертой – панель, считается, что этот край ПП жестко заземлен.

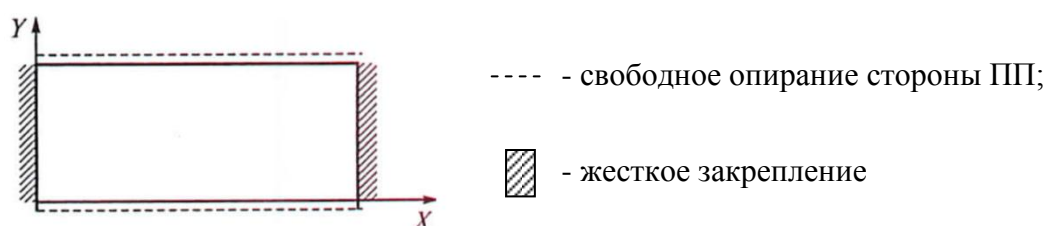


Рисунок 11 – Расчетная модель ячейки

Считаем, что вибрации действуют в плоскости, перпендикулярной плоскости ячейки. Возбуждение системы – кинематическое, так как источник вибраций внешний.

Характеристики материалов печатной платы представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Характеристики материалов печатной платы

Марка материала	Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости, $E \cdot 10^6$ , Н/см <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона, $\mu$
СТЭФ	2,47	3,2	0,279
СТЭ	1,98	3,5	0,21
НФД	2,32	3,45	0,23
СФ	2,05	3,02	0,22

1. Определение частоты собственных колебаний

Частота собственных колебаний равномерно нагруженной пластины вычисляем по следующей формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{K_\alpha}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} ab,$$

где  $a$  – длина пластины, м;  $b$  – ширина пластины, м;  $D$  – цилиндрическая жесткость, Нм;  $M$  – масса пластины с ЭК, кг;  $K_\alpha$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон пластины (таблица 7).

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)},$$

где  $E$  – модуль упругости для материала платы, Н/м<sup>2</sup>;  $h$  – толщина платы, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

$$M = M_{\text{ПП}} + M_{\text{ЭК}}$$

где  $M_{\text{ПП}}$  – масса ПП, кг;  $M_{\text{ЭК}}$  – масса ЭК, кг.

$$M_{\text{ПП}} = \rho_{\text{ПП}} hab,$$

где  $\rho_{\text{ПП}}$  – плотность материала платы, кг/м<sup>3</sup>.

$$M_{\text{ЭК}} = \sum_{i=1}^N m_i N_i,$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го ЭК  $i$ -го типа;  $N_i$  – количество ЭК  $i$ -го типа.

2. Определение коэффициента динамичности

Для случая кинематического возбуждения, когда источник вибрации находится вне электронной аппаратуры, коэффициент динамичности рассчитывают по следующей формуле:

$$\delta = \frac{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}$$

где  $\varepsilon = 0.01$  – показатель затухания для стеклотекстолита;  $\eta$  – коэффициент расстройки.

Для максимальной частоты действующей вибрации  $\eta = \frac{f_{\text{max}}}{f_0}$ ,  $f_{\text{max}}$  – максимальная частота действующей вибрации.



### 3. Определение амплитуды вибро смещения основания

Найдем амплитуду вибро смещения основания для максимальной частоты возбуждения по следующей формуле:

$$\varepsilon_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 f_{max}^2}.$$

### 4. Определение вибро ускорения и вибро перемещения ЭК

Вибро ускорение и вибро перемещение определим для элемента расположенного практически в центре ПП, и, следовательно, нагрузки на который будут максимальны.

Найдем относительные координаты центра элемента:

$$\varepsilon_x = \frac{x}{a}; \quad \varepsilon_y = \frac{y}{a};$$

Коэффициент передачи по ускорению рассчитывается по следующей формуле:

$$\gamma(x, y) = \frac{\sqrt{[1 + (K_1(x)K_1(y) - 1)\eta^2]^2 + \varepsilon^2\eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2\eta^2}}$$

где  $K_1(x) = 1,29$ ,  $K_1(y) = 1,28$  – коэффициенты формы колебаний.

Определим вибро ускорение:

$$a_B(x, y) = a_0(x, y)\gamma(x, y)$$

Выразим вибро ускорение в единицах  $g$ :

$$a_B(x, y) = [A]g,$$

где  $g = 9.81\text{м/с}^2$ ,  $[A]$  – числовой коэффициент при переводе.

Определим вибро перемещение, м:

$$S_B(x, y) = \varepsilon_0\gamma(x, y)$$

### 5. Определение максимального прогиба ПП

Будем считать вибро перемещение элемента максимальным по ПП. Тогда максимальный прогиб ПП определяется по следующей формуле:

$$\delta_B = |S_B(x, y) - \varepsilon_0|_{max}$$

### 6. Проверка выполнения условия вибропрочности

#### 6.1 Для элемента

Если действующее на элемент при максимальной частоте вибраций вибро ускорение  $a_B(x, y) = [A]g$  меньше допустимого  $a_{доп} = 30g$  на этот элемент, то, условие вибропрочности выполняется. Если больше, то условие вибропрочности не выполняется.

Поскольку рассматриваемый элемент находится в наихудших условиях (в условиях максимальной нагрузки), можно считать, что условие вибропрочности выполняется или не выполняется и для остальных ЭК.

#### 6.2. Для печатной платы с ЭК.

Допустимый прогиб ПП определяется по формуле

$$\delta_{в,доп} = 0.003b.$$

Для обеспечения вибропрочности ПП необходимо выполнения следующего условия:

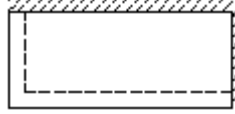

$$\delta_b < 0.003b,$$

где  $b$  – сторона ПП, параллельно которой установлены ЭК.

Таблица 7 – Варианты заданий для расчета ПП на действие вибрации

№	Материал ПП	Диапазон вибраций, Гц	Способ закрепления платы	Толщина платы, мм
1.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	1	1,5
2.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	2	1,6
3.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	3	1,7
4.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	4	1,8
5.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	5	1,9
6.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	6	2,0
7.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	7	1,5
8.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	1	1,6
9.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	2	1,7
10.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	3	1,8
11.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	4	1,9
12.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	5	2,0
13.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	6	1,5
14.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	7	1,6
15.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	1	1,7

Таблица 8 – Способы закрепления печатной платы

№	Эскиз закрепления платы	Формула для определения $K_a$
1		$9.87\sqrt{1 + 2.33\gamma^2 + 2.44\gamma^4}$
2		$9.87\sqrt{1 + 2.57\gamma^2 + 5.14\gamma^4}$
3		$22.37\sqrt{1 + 0.48\gamma^2 + 0.19\gamma^4}$
4		$15.42\sqrt{1 + 1.11\gamma^2 + \gamma^4}$
5		$22.37\sqrt{1 + 0.57\gamma^2 + 0.47\gamma^4}$
6		$22.37\sqrt{1 + 0.61\gamma^2 + \gamma^4}$
7		$22.37\sqrt{1 + 0.14\gamma^2 + 0.02\gamma^4}$

где  $\gamma = \frac{a}{b}$ ,  $a$  – большая сторона платы,  $b$  – меньшая сторона платы.

### Контрольные вопросы

1. Какие виды механических воздействий Вы знаете?
2. Какие элементы конструкции электронной аппаратуры наиболее подвержены влиянию механических воздействий?
3. Что понимается под вибрацией электронных изделий? Чем характеризуется вибрация?
4. Приведите примеры отказов электронных компонентов при вибрационных воздействиях?
5. Дайте определение вибропрочности и виброустойчивости?
6. Какие условия обеспечения вибропрочности функциональной ячейки Вы знаете?
7. По каким показателям осуществляется оценка вибропрочности ячейки?
8. Как способ закрепления платы влияет на значение резонансной частоты?

#### 4. Практическое задание №4. Расчет толщины печатной платы

**Цель работы:** оценить удовлетворяет ли толщина печатная плата требованиям технического задания.

##### Краткие теоретические сведения

Толщина ПП определяется толщиной материала основания ПП и проводящего рисунка (без дополнительных покрытий). Ее выбирают в зависимости от конструктивных, технологических особенностей и механических нагрузок (вибраций и ударов при эксплуатации и транспортировке), которые могут вызвать механические перегрузки и привести к деформации и разрушению ПП. Предпочтительными значениями номинальных толщин однослойных ПП и двухслойных ПП являются 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Допуск на толщину ПП устанавливают по техническому условию (ТУ) на материал или по ГОСТ 23751-86.

При выборе толщины ПП необходимо учитывать следующие особенности:

- толщина платы должна соответствовать диаметрам применяемых металлизированных отверстий (для качественной металлизации отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП должно быть не менее 0,4);
- минимальная длина участка штыревых выводов ЭК, выступающих из отверстия должна быть не менее 0,5 мм для обеспечения нормальных условий пайки и получения качественного паяного соединения.
- установочный размер соединителя прямого сочленения должен обеспечивать получение надежного контакта концевых печатных контактов ПП и соединителя.

При совпадении собственных частот ПП с частотой возмущающих воздействий перегрузки увеличиваются в значительной степени, поэтому собственная частота  $f_0$  ПП не должна находиться в спектре частот внешних воздействий. Для высокочастотной электронной аппаратуры (выше  $10^7 \dots 10^8$  Гц) значение толщины многослойной ПП должно быть увеличено для увеличения значения волнового сопротивления, необходимого для коммутации микросхем.

Определение собственных частот ПП проводится с учетом характера закрепления ПП в блоке. Расчет толщины ПП и гибкого печатного кабеля выполняют по низшему значению собственной частоты. Расчет частоты собственных колебаний ПП для различных способов их закрепления в модулях более высокого конструктивного уровня с равномерно распределенными по поверхности ПП ЭК приближенно вычисляют по формулам, представленным в практическом задании №3. По формулам определяют приближенное значение толщины ПП, которое корректируют в сторону увеличения в соответствии с применяемым соединителем и маркой

материала (таблица 9). Первоначально при расчетах толщина платы принимается равной 0,8 мм.

Если прогиб и угол поворота на краю ПП равны нулю, то этот край считают жестко заземленным. Если прогиб и изгибающий моменты равны нулю, то этот край считают опертым. Если изгибающий момент и перерезывающая сила равны нулю, то этот край считают свободным [1].

Если значение собственной частоты  $f_0$  входит в диапазон частот внешних воздействий, то конструкцию ПП дорабатывают в целях увеличения  $f_0$  и выхода из спектра частот внешних воздействий, например путем увеличения толщины ПП.

**Задание №1.** Выполнить расчет толщины печатной платы. Способ закрепления платы следует взять из таблицы 8 согласно варианту.

Таблица 9 – Варианты заданий для расчета толщины печатной платы

№	Материал ПП	Диапазон вибраций, Гц	Способ закреп-я платы	Размеры платы, мм	Масса ЭК, гр.
1.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	1	120x200	36
2.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	2	80x100	22
3.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	3	120x180	32
4.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	4	80x140	28
5.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	5	60x100	30
6.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	6	160x200	44
7.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	7	75x90	26
8.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	1	110x150	30
9.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	2	80x130	24
10.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	3	60x140	40
11.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	4	50x100	25

12.	СФ	от 1 до 200 (аппаратура, транспортируемая на автомобильном, дорожном транспорте, и на морских и речных судах)	5	80x140	31
13.	НФД	от 1 до 700 (аппаратура, транспортируемая на гусеничном транспорте)	6	100x130	37
14.	СТЭ	от 1 до 500 (аппаратура, транспортируемая на самолете)	7	150x180	49
15.	СТЭФ	от 1 до 300 (аппаратура, транспортируемая на железнодорожном транспорте)	1	40x60	18

**Задание №2.** Оценить, возможно ли использование рассчитанной в первом задании толщины ПП при указанных: наименьшем диаметре отверстия, классе точности и типе разъема (таблицы 10). Выполнить расчеты: соотношения заданного диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП; соотношения диаметра металлизированного отверстия по заданному классу точности в соответствии с ГОСТ к толщине ПП; оценить возможность пайки разъема. Сделать выводы.

Таблица 10 – Варианты заданий для расчета толщины печатной платы

№	Наименьший диаметр отверстия	Класс точности	Тип разъема
1	0,6	1	DS1021-1x10 SF16
2	0,5	2	DS1021-1x10 SF116
3	0,4	3	DS1021-1x10 SF149
4	0,3	4	DS1021-1x10 SF11
5	0,2	5	DS1021-1x10 SF149
6	0,6	1	DS1021-1x10 SF16
7	0,5	2	DS1021-1x10 SF116
8	0,4	3	DS1021-1x10 SF11
9	0,3	4	DS1021-1x10 SF16
10	0,2	5	DS1021-1x10 SF116
11	0,6	1	DS1021-1x10 SF149
12	0,5	2	DS1021-1x10 SF11
13	0,4	3	DS1021-1x10 SF149
14	0,3	4	DS1021-1x10 SF16
15	0,2	5	DS1021-1x10 SF116

**Задание №3.** Определить число слоев и толщину многослойной печатной платы (МПП).

Для МПП длина электрических связей является функцией количества и координат контактных площадок, электрически связанных с выводами ЭК. При этом длина связей

$$L_{CB} = \beta(L_x + L_y)n_{\text{ВЫВ}}N_M,$$

где  $\beta = 0,05 \dots 0,07$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние ширины и шага проводников, эффективности трассировки, форм корпуса интегральной микросхемы (ИМС) и монтажа поля.

$L_x$  и  $L_y$  – габаритные размеры МПП;

$n_{\text{ВЫВ}}$  – количество выводов ИМС;

$N_M$  – количество ЭК, устанавливаемых на ПП.

Зная суммарную длину связей и задавая шаг трассировки проводников  $l_{\text{П}}$  можно определить количество логических или сигнальных слоев МПП

$$n_{\text{лог}} = \frac{\beta(L_x + L_y)n_{\text{ВЫВ}}N_M l_{\text{П}}}{L_x L_y \tau_{\text{тр}}}$$

Здесь  $\tau_{\text{тр}}$  – коэффициент эффективности трассировки (примем  $\tau_{\text{тр}} = 0,95$ );  $l_{\text{П}}$  – частное от деления шага координатной сетки или основного шага размещения ЭК на любое целое число. При этом сумма минимальной ширины проводника и зазора должна быть меньше  $l_{\text{П}}$ .

Учитывая, что в МПП наружные слои используют как монтажные, количество которых не может превышать двух ( $n_M \leq 2$ ), а экранные слои размещаются между логическими ( $n_э = n_{\text{лог}} - 1$ ), общее количество слоев МПП определяют следующим образом:

$$n_{\text{сл}} = n_{\text{лог}} + (n_{\text{лог}} - 1) + 2 = 2n_{\text{лог}} + 1.$$

Зная количество слоев, можно рассчитать толщину МПП:

$$H_{\text{П}} = \sum_{n=1}^n H_c + (0,9 \dots 1,2) \sum_{m=1}^m H_{\text{пр}} + n_э H_э,$$

где  $H_c$  – номинальное значение толщины слоя, мм, выбирают из стандартного ряда толщин для конкретного материала;  $n$  – число сигнальных слоев;  $H_{\text{пр}}$  – толщина прокладок стеклоткани;  $m$  – число прокладок;  $H_э$  – толщина экранного слоя;  $n_э$  – число экранных слоев, если они входят в конструкцию МПП ( $n_э = 2$ ).

Предельные отклонения на толщину МПП выбирают по таблице 11.

Таблица 11 – Предельные отклонения толщины МПП

Толщина МПП, мм	Предельные отклонения на суммарную толщину МПП, мм
До 1,5 включительно	$\pm 0,2$
От 1,5 до 3 включительно	$\pm 0,3$
От 3 до 4,5	$\pm 0,5$
Свыше 4,5	$\pm 0,65$

Суммарную толщину ПП и гибких печатных кабелей (ГПК) определяют как сумму толщины ПП или ГПК и суммарной толщины покрытий наружных слоев.

Таблица 12 – Варианты заданий для расчета толщины и числа слоев МПП

№	Габар. размеры МПП, мм	Кол-во задейст. выводов ИМС, шт.	Кол-во ИМС, шт.	Кэф. пропор.	Толщ. экран-о слоя, мм	Число сигнальных слоев, шт.	Материал МПП	Толщина прокладки стеклоткани, мм
1.	120x200	18	60	0,06	1	3	ФТС-1-35А	0,1
2.	80x100	16	40	0,07	1,05	4	ФДМЭ-2А	0,105
3.	120x180	22	45	0,06	1,1	3	ФДМ-1А	0,11
4.	80*140	16	40	0,07	1,15	4	СТФ-1-35	0,115
5.	60x100	18	50	0,06	1,2	3	ДФО-1	0,12
6.	160*200	24	70	0,07	1,25	4	ДФС-1	0,125
7.	75x90	14	35	0,05	1,2	3	СТНФ-1-35	0,1
8.	110x150	22	54	0,06	1,15	4	ФТС-1-35А	0,105
9.	80x130	20	42	0,07	1,1	3	ФДМЭ-2А	0,11
10.	60x140	18	60	0,05	1,05	4	ФДМ-1А	0,115
11.	50x100	20	38	0,06	1	3	СТФ-1-35	0,12
12.	80x140	24	44	0,07	1,25	4	ДФО-1	0,125
13.	100x130	22	52	0,06	1,2	3	ДФС-1	0,1
14.	150x180	24	68	0,07	1,15	4	СТНФ-1-35	0,105
15.	40x60	14	30	0,05	1,1	3	ФТС-1-35А	0,11

### Контрольные вопросы

1. Как определяется толщина печатной платы?
2. Какие факторы влияют на выбор толщины печатной платы?
3. Какие предпочтительные значения толщин однослойных печатных плат, а какие двухслойных печатных плат?
4. Что необходимо учитывать при выборе толщины печатной платы?
5. Как значение толщины печатной платы влияет на собственную частоту платы?
6. От чего зависит выбор толщины многослойной печатной платы?



## 5. Практическое задание №5. Расчет печатной платы на действие удара

**Цель работы:** провести расчет печатной платы на действие удара и сделать вывод удовлетворяется ли требование технического задания на воздействие удара.

### Краткие теоретические сведения

ПП в составе ячейки и блока может подвергаться ударным воздействиям при эксплуатации, транспортировке, монтаже и т.д. При ударе ПП и ЭК испытывают нагрузки в течение малого промежутка времени и больших значениях ускорений, что может привести к значительным их повреждениям. Интенсивность ударного воздействия зависит от формы, амплитуды и длительности ударного импульса.

Форма реального ударного импульса определяется зависимостью ударного ускорения от времени. При расчетах реальную форму заменяют эквивалентной: например, прямоугольной, треугольной, полусинусоидальной. За амплитуду ударного импульса принимают максимальное ускорение при ударе.

Длительностью ударного импульса является интервал времени, в течение которого действует ударный импульс. Конструкции всех элементов ЭА, работающие в условиях ударов, в том числе и ПП с ЭК, должны отвечать требованиям ударопрочности и удароустойчивости [1].

**Ударопрочность** – способность конструкции выполнять функции и сохранять значения параметров в заданных пределах после воздействия ударов.

**Удароустойчивость** – способность конструкции выполнять функции и сохранять значения параметров в заданных пределах во время воздействия ударов.

Конструкция ЭА отвечает требованиям ударопрочности, если перемещение и ускорение при ударе не превышает допустимых значений, а элементы конструкции обладают запасом прочности на изгиб.

**Задание** – проверить условие ударопрочности конструкции.

**Исходные данные:** значения массы ПП и ЭК, геометрические размеры ПП, материал ПП, длительность удара  $\tau$ , ускорение  $a$  или перегрузки при ударе, частота ударов  $\nu$ , следует взять из таблицы 13 согласно варианту.

Определение условной частоты ударного импульса осуществляется следующим образом:

$$\omega = \frac{\pi}{\tau}$$

Определим далее значение коэффициента передачи при ударе для полусинусоидального импульса:

$$K_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos\left(\frac{\pi}{2\nu}\right),$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi f_0},$$

где  $\nu$  – коэффициент расстройки,  $f_0$  - частота собственных колебаний платы, Гц.

Определим ударное ускорение по следующей формуле:

$$a_y = aK_y,$$

где  $a$  – амплитуда ускорения ударного импульса. Выразим ударное ускорение в единицах  $g$ .

Далее определяется максимальное относительное перемещение:

$$Z_{max} = K_y \frac{a}{(2\pi f_0)^2}.$$

Осуществляется проверка выполнения условий ударопрочности. Для ЭК минимально допустимая ударная перегрузка для ЭК  $a_{доп} = 20g$ . Для ПП с ЭК условие ударопрочности  $Z_{max} < 0,003b$ , где  $b$  – сторона ПП, параллельно которой установлены ЭК.

Таблица 13 – Варианты заданий для расчета печатной платы на воздействие удара

№	Масса ПП, гр	Масса ЭК, гр	Размеры ПП, мм	Материал ПП	Длит-ь удара, мс	Ускор-е, м/с <sup>2</sup>	Частота ударов, Гц	$f_0$ , Гц
1.	117	36	120x200	СФ	5	92	40	290
2.	123	22	80x100	СТЭФ	5,5	94	50	297
3.	124	32	120x180	СТЭ	6	96	60	314
4.	125	28	80x140	НФД	6,5	98	70	321
5.	134	30	60x100	ФТС-1-35А	7	100	80	328
6.	146	44	160x200	ФДМЭ-2А	7,5	102	90	335
7.	162	26	75x90	ФДМ-1А	8	104	100	342
8.	147	30	110x150	СТФ-1-35	8,5	103	110	349
9.	139	24	80x130	ДФО-1	9	101	120	356
10.	121	40	60x140	ДФС-1	9,5	99	115	363
11.	111	25	50x100	СТНФ-1-35	10	97	105	370
12.	109	31	80x140	СТЭ	9,75	95	95	377
13.	86	37	100x130	НФД	8,75	93	85	384
14.	94	49	150x180	СТНФ-1-35	7,75	98,5	75	391
15.	85	18	40x60	ФТС-1-35А	6,75	99	65	398

## Контрольные вопросы

1. Какие виды механических воздействий Вы знаете?
2. Какие элементы конструкции электронной аппаратуры наиболее подвержены влиянию ударных воздействий?
3. Приведите примеры отказов электронных компонентов при ударных воздействиях?
4. От чего зависит интенсивность ударного воздействия?
5. Что понимается под длительностью ударного импульса?
6. Чем ударопрочность конструкции отличается от удароустойчивости?
7. При каких условиях конструкция электронной аппаратуры отвечает требованиям ударопрочности?
9. Какие условия обеспечения ударопрочности функциональной ячейки Вы знаете?

## **6. Практическое задание №6.**

### **Расчет температуры поверхности электронного изделия**

**Цель работы:** провести тепловой расчет функциональной ячейки блока электронной аппаратуры.

#### **Краткие теоретические сведения**

Одним из важнейших факторов, определяющих эксплуатационную надежность электронной аппаратуры (ЭА), является тепловой режим, обеспечение которого связано с выбором таких конструкций блока, ячейки и ПП, которые бы не препятствовали, а способствовали рассеиванию теплоты в окружающую среду. Это особенно актуально в связи с постоянным ростом функциональной, конструктивной сложности, тепловыделения ЭК, отношения выделяемой тепловой энергии к рассеиваемой в окружающее пространство и повышения температуры внутри электронной аппаратуры (ЭА), которое способствует увеличению интенсивности отказов ЭК за счет превышения допустимого нагрева ЭК [5, 6].

Для ЭА наиболее жестким является стационарный тепловой режим, при котором температура и перегрев имеют максимальные значения. Поэтому целью теплового расчета является определение температур нагретой зоны и температуры наиболее критичного элемента, т.е. ЭК, допустимая положительная температура которого имеет наименьшее значение среди всех ЭК, образующих нагретую зону.

Тепловой расчет проводят обычно на уровне блока, в который может входить несколько ячеек, что значительно усложняет и без того громоздкий расчет. Поэтому расчет температуры поверхности электронного изделия (стационарный тепловой режим блока) осуществляют при естественной конвекции с целым рядом упрощений (в блоке размещена одна ячейка, вид охлаждения – естественная конвекция и др.).

Расчет теплового режима блока условно можно разделить на три этапа [1]:

- определение температуры корпуса блока;
- определение среднеповерхностной температуры нагретой зоны;
- определение температуры поверхности корпуса ЭК.

Будем считать, что в результате проведенных тепловых расчетов первого и второго этапов определены:

- $\Delta t_{к.о} = 1,797 \text{ }^\circ\text{C}$  – перегрев корпуса блока во втором приближении относительно окружающей среды (из расчета 1-го этапа);
- $\Delta t_{з.о} = 3,884 \text{ }^\circ\text{C}$  – нагрев нагретой зоны во втором приближении относительно окружающей среды (из расчета 2-го этапа).

**Задание №1.** Провести тепловой расчет для ячейки, представленной на рисунке 12, сделать выводы.

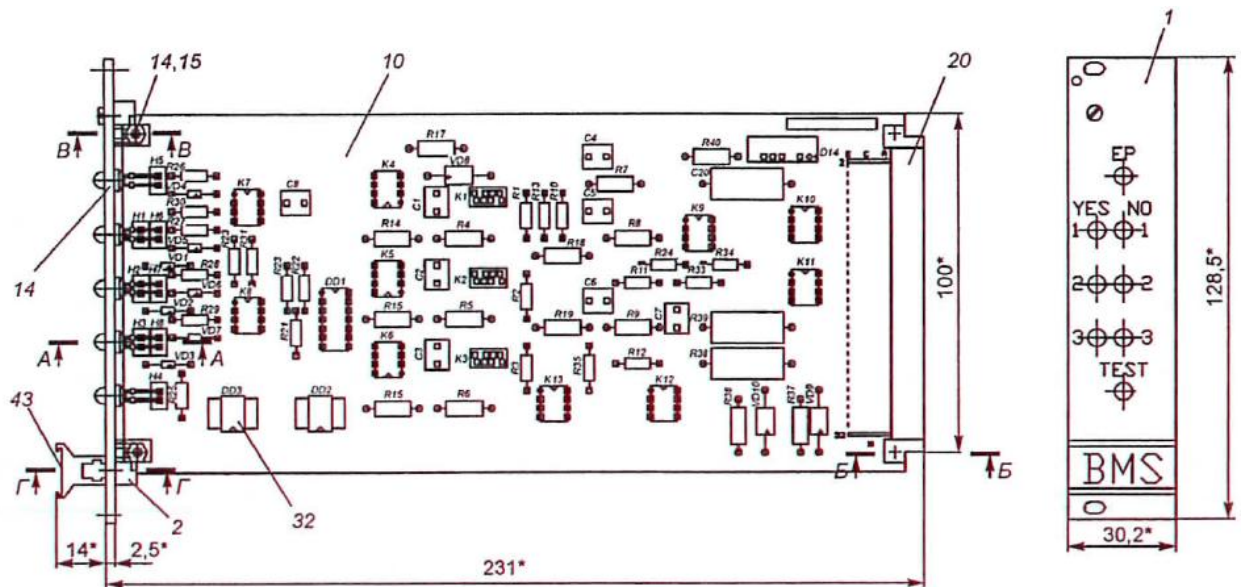


Рисунок 12 – Функциональная ячейка

**Исходные данные:** расположение ЭК на ПП – одностороннее; коэффициент теплоотдачи от корпусов микросхем  $k_{\alpha} = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ ; мощность, рассеиваемая  $i$ -ой микросхемой (для всех ИМС одинаковая)  $Q_{ис\ i} = 0,004 \text{ Вт}$ .

Материал ПП, размеры корпуса ИМС ДД4 ( $c_1, c_2, \text{мм}$ ), зазор между микросхемой и ПП ( $\delta_{zi}, \text{мм}$ ), перегрев корпуса блока во втором приближении относительно окружающей среды (из расчета 1-го этапа,  $\Delta t_{к.о}, ^\circ\text{С}$ ), нагрев нагретой зоны во втором приближении относительно окружающей среды (из расчета 2-го этапа,  $\Delta t_{з.о}, ^\circ\text{С}$ ), значение толщины ПП ( $h_{пл}, \text{м}$ ), температуру окружающей среды ( $t_o, ^\circ\text{С}$ ), следует взять из таблицы 14 согласно варианту.

Определим эквивалентный коэффициент теплопроводности модуля ( $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ ) в котором расположена микросхема. Когда отсутствуют теплопроводные шины для установки ИМС

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \lambda_{\text{пл}},$$

где  $\lambda_{\text{пл}}$  – теплопроводность материала основания ПП, Вт/м К.

Определим эквивалентный радиус корпуса микросхем (для ДД4):

$$R = \sqrt{\frac{S_{o \text{ ИС}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\pi}},$$

где  $S_{o \text{ ИС}} = C_1 C_2$  – площадь основания микросхемы.

Рассчитаем коэффициент распространения теплового потока:

$$m = \sqrt{\frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{h_{\text{пл}} * \lambda_{\text{ЭКВ}}}},$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты теплообмена с 1- и 2-й стороной ПП; для естественного теплообмена  $\alpha_1 + \alpha_2 = 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ ,  $h_{\text{пл}}$  – толщина ПП.

Определим искомый перегрев поверхности корпуса микросхемы для ИМС, находящейся в середине ПП и поэтому работающей в наихудшем тепловом режиме (для ДД4):

$$\Delta t_{ис} =$$

$$= \Delta t_B + k \left[ \frac{Q_{ис}}{k_{\alpha}(S_{ис} - S_{оис}) + \frac{1}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \frac{1}{B + M\pi R \lambda_{\text{эКВ}} h_{\text{пл}} m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)}}}} \right]$$

$$+ \sum_{i=1}^N \frac{Q_{ис} \frac{K_0(mr)}{K_0(mR)}}{k_{\alpha i}(S_{ис i} - S_{оис i}) \left\{ 1 + \left[ \frac{\delta_{3i}}{\lambda_{3i} \pi R_i^2} + \frac{1}{k_{\alpha i}(S_{ис i} - S_{оис i})} \right] \left( B_i + M\pi R_i \lambda_{\text{эКВ}} h_{\text{пл}} \delta_{\text{п}} m \frac{K_1(mR_i)}{K_0(mR_i)} \right) \right\}}, \quad (6.1)$$

Будем считать  $N_i = 2$ , следовательно, под знаком суммы находятся два слагаемых и последнюю формулу можно представить в виде четырех слагаемых:

$$\Delta t_{исДД4} = \Delta t_B + \Delta t_{1ДД4} + \Delta t_{1ДД5} + \Delta t_{1ДД6},$$

где  $B$  и  $M$  – условные величины, введенные для упрощения формы записи, при одностороннем расположении корпусов микросхем на ПП,

$$B = 8,5\pi R^2, \text{ Вт}/(\text{мК}),$$

$$M = 2.$$

$k$  – эмпирический коэффициент:

- для корпусов микросхем, центр которых отстоит от концов ПП на расстоянии менее  $3R$ ,  $k = 1, 14$ ;
- для корпусов микросхем, центр которых отстоит от концов ПП на расстоянии более  $3R$ ,  $k = 1$ ;

$k_{\alpha}$  – коэффициент теплоотдачи от корпусов микросхем;

$S_{ис}$  – площадь поверхности корпуса микросхемы;

$N_i$  – число  $i$  – х корпусов микросхем, расположенных вокруг корпуса рассматриваемой микросхемы на расстоянии не более  $r_i = \frac{10}{m}$ .

Находим число корпусов микросхем, расположенных на данном расстоянии от микросхемы ДД4. Пусть, например,  $N_i = 2$  и это будут микросхемы ДД5 и ДД6. Для дальнейших расчетов определяем площадь корпусов ( $S_{ис i}$ ), основания ( $S_{осн.ис i}$ ), и радиусы микросхем ( $R_{ис i}$ ), ДД4, ДД5 и ДД6.

- микросхема ДД5 - корпус 401.14-15 (6,7x10x1,97 мм);
- микросхема ДД6 - корпус 402.16-32 (9,3x11,5x2,5 мм).

Для дальнейших расчетов также найдем модифицированные функции Бесселя (это функции Бесселя (семейство функций, являющихся каноническими решениями дифференциального уравнения Бесселя) от чисто мнимого аргумента):

- для микросхемы ДД4:  $K_1(mR)$ ;  $K_0(mR)$ ;
- для микросхемы ДД5:  $K_0(mr)$ ;  $K_0(mR)$ ;  $K_1(mR)$ ;
- для микросхемы ДД6:  $K_0(mr)$ ;  $K_0(mR)$ ;  $K_1(mR)$ .

Далее находим среднеобъёмный перегрев корпуса в блоке:

$$\Delta t_{\text{в}} = \frac{\Delta t_{\text{к.о}} + \Delta t_{\text{з.о}}}{2},$$

где  $\Delta t_{\text{к.о}}$  – перегрев корпуса блока во втором приближении относительно окружающей среды,  $\Delta t_{\text{з.о}}$  – нагрев нагретой зоны во втором приближении относительно окружающей среды.

Затем подставляя численные значения в формулу (6.1) находим значения  $\Delta t_{1\text{ДД4}}$ ,  $\Delta t_{1\text{ДД5}}$ ,  $\Delta t_{1\text{ДД6}}$  и таким образом, получаем перегрев поверхности корпуса микросхемы ДД4 ( $\Delta t_{\text{ИСДД4}}$ ).

Также, необходимо рассчитать температуру поверхности корпуса микросхемы и определить, удовлетворяет ли рассчитанная температура перегрева условиям эксплуатации микросхемы. Значение допустимой температуры для микросхемы ДД4 составляет  $0 \dots +70^\circ\text{C}$ .

$$t_{\text{ИС}} = t_o + \Delta t_{\text{ИС}}.$$

Таблица 14 – Варианты заданий для расчета температуры поверхности электронного изделия

№	Материал ПП	$c_1, c_2, \text{мм}$	$\Delta t_{\text{к.о}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{з.о}}, ^\circ\text{C}$	$\delta_{\text{зи}}, \text{мм}$	$h_{\text{пл}}, \text{мм}$	$t_o, ^\circ\text{C}$	Теплопроводность в зазоре, Вт/м·К
1.	НФД	19,5x7,5	1,787	3,885	0,8	1,6	67	$2,836 \cdot 10^{-2}$
2.	СТЭ	20,5x9,5	1,777	3,886	0,85	2,0	68	$2,788 \cdot 10^{-2}$
3.	СТЭФ	22,5x12,5	1,767	3,887	0,9	2,5	69	$2,736 \cdot 10^{-2}$
4.	СФ	18,5x6,5	1,757	3,888	0,95	3,0	70	$2,888 \cdot 10^{-2}$
5.	НФД	19,5x7,5	1,747	3,889	1	1,6	71	$2,776 \cdot 10^{-2}$
6.	СТЭ	20,5x9,5	1,737	3,883	1,05	2,0	72	$2,798 \cdot 10^{-2}$
7.	СТЭФ	22,5x12,5	1,727	3,882	1,1	2,5	73	$2,816 \cdot 10^{-2}$
8.	СФ	18,5x6,5	1,717	3,881	0,8	1,5	74	$2,828 \cdot 10^{-2}$
9.	НФД	19,5x7,5	1,798	3,894	0,85	1,6	75	$2,856 \cdot 10^{-2}$
10.	СТЭ	20,5x9,5	1,799	3,874	0,9	2,0	76	$2,778 \cdot 10^{-2}$
11.	СТЭФ	22,5x12,5	1,796	3,864	0,95	2,5	77	$2,899 \cdot 10^{-2}$
12.	СФ	18,5x6,5	1,795	3,854	1	3,0	78	$2,794 \cdot 10^{-2}$
13.	НФД	19,5x7,5	1,794	3,844	1,05	1,6	75	$2,869 \cdot 10^{-2}$
14.	СТЭ	20,5x9,5	1,793	3,834	1,1	2,0	71	$2,818 \cdot 10^{-2}$
15.	СТЭФ	22,5x12,5	1,792	3,824	0,8	2,5	68	$2,866 \cdot 10^{-2}$

## Контрольные вопросы

1. Какой режим для электронной аппаратуры является наиболее жестким?
2. На какие этапы можно разделить расчет теплового режима блока?
3. Какой вид конструкции применяется для обеспечения нормального теплового режима электронной аппаратуры?
4. Каким образом может осуществляться охлаждение ЭК на печатной плате?
5. Что такое перегрев электронного компонента и какие последствия он за собой влечет?
6. За счет чего осуществляется теплообмен в конструкции электронной аппаратуры?
7. Каким способом лучше всего обеспечивать охлаждение электронной аппаратуры?
8. Сколько процентов тепла отводится от поверхности корпуса электронного изделия при нормальных климатических условиях?
9. Какие виды систем охлаждения электронной аппаратуры Вы знаете?



## 7. Практическое задание №7. Тепловой расчет блока электронного изделия в герметизированном корпусе

**Цель работы:** провести тепловой расчет блока электронного изделия в герметизированном корпусе

### Краткие теоретические сведения

Блок представляет собой сложную систему тел с множеством внутренних источников теплоты. Точное аналитическое описание температурных полей внутри блока невозможно из-за громоздкости задачи и неточности исходных данных: мощности источников тепла, теплофизических свойств материалов, размеров границ. Поэтому при расчете теплового режима блока использованы приближенные методы анализа и расчета [5].

**Исходные данные.** Габаритные размеры корпуса (рисунок 13), вид материала поверхности корпуса, максимальную температуру внутри блока ( $T_{max}$ , К), максимальную рассеиваемую мощность внутри блока ( $P$ , Вт), коэффициент заполнения корпуса блока модулями ( $K_3$ ), эмпирический коэффициент, зависящий от физических свойств теплоносителя, его температуры и характера движения ( $A_2$ ), следует взять из таблицы 16 согласно варианту.

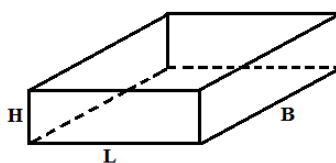


Рисунок 13 – Корпус блока электронного изделия

Максимальная температура окружающей среды  $T_{oc} = 313$  К. Значения степени черноты поверхности корпуса ( $\varepsilon$ ) представлены в таблице 15.

Определим в первом приближении температуру корпуса:

$$T_k = \frac{T_{max} + T_{oc}}{2}.$$

Определим закон, применяемый для расчета теплопередачи конвекцией:

$$T_k - T_{oc} \leq \left( \frac{840}{H} \right)^3.$$

Таблица 15 – Степени черноты различных поверхностей

Материал	Степень черноты	Материал	Степень черноты
Алюминиевая краска	0,28	Латунь матовая тусклая	0,22
Алюминиевая фольга	0,09	Медь окисленная	0,60 - 0,70
Алюминий грубополированный	0,18	Медь полированная	0,02
Алюминий полированный	0,04 - 0,06	Шеллак черно-матовый	0,91
Бронза полированная	0,16	Олово (луженое железо)	0,07 - 0,09
Бронзовая краска	0,51	Резина	0,86 - 0,95
Дюралюминий Д-16	0,37 - 0,41	Окиси металлов	0,40 - 0,80
Железо	0,14 - 0,38	Стальное литье полированное	0,52 - 0,56
Ковар	0,80 - 0,85	Сталь окисленная	0,80
Краски эмалевые	0,92	Стекло	0,90 - 0,94
Лак белый	0,80 - 0,98	Титан	0,63
Лак черный	0,80 - 0,96	Фарфор глазурованный	0,92
Латунь листовая прокатанная	0,06	Цинк	0,23 - 0,27

Если неравенство выполняется, то количество конвекционного тепла определяется законом  $^{1/4}$  и находится по формуле:

$$Q_k = A_2 \left( \frac{S_6}{H^4} + \frac{S_r}{B^4} \right) * (T_k - T_{oc})^{5/4}$$

где  $A_2$  – эмпирический коэффициент, зависящий от физических свойств теплоносителя, его температуры и характера движения;

$S_6$  - площадь суммарная боковых поверхностей,  $мм^2$ ;

$S_r$  - площадь горизонтальной поверхности блока,  $мм^2$ .

Определим площадь корпуса:

$$S_k = 2 * L * B + 2 * (L + B) * H$$

где площадь горизонтальных поверхностей корпуса  $S_r = 2 * L * B$ , суммарная площадь боковых поверхностей  $S_6 = 2 * (L + B) * H$ .

Определим мощность тепловыделения излучением:

$$Q_l = 5.67 * \varepsilon * S_k * \left( \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{oc}}{100} \right)^4 \right),$$

где 5,67 - коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $Вт/(м^2 \text{ град}^4)$ ,  
 $\varepsilon$  - степень черноты поверхности корпуса.

Найдем суммарное тепловыделение:

$$Q = Q_k + Q_l$$

Если мощность, рассеиваемая корпусом, меньше реально выделяемой в блоке мощности, то в первом приближении можно утверждать, что для обеспечения нормального теплового режима блока недостаточно естественной конвекции.

Далее определим температуру нагретой зоны в соответствии с  $K_3$  блока. Для этого определяется площадь нагретой зоны внутри блока

$$S_3 = 2 * (L * B) + 2 * (L + B) * H * K_3.$$

Находится определяющая температура внутри корпуса:

$$T_{\text{оп.вн.корп}} = \frac{T_{\text{max}} + T_k}{2}.$$

Определим коэффициенты теплопередачи конвекцией и излучением внутри корпуса:

$$\alpha_k = A_2 \left( \frac{T_{\text{max}} - T_k}{H} \right)^{1/4},$$

$$\alpha_l = 5,67 * \varepsilon * \left( \frac{\left( \frac{T_{\text{max}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4}{T_{\text{max}} - T_k} \right).$$

Определяется общая тепловая проводимость зоны:

$$\sigma_3 = S_3 * (\alpha_k + \alpha_l)$$

Определяется максимальная температура нагретой зоны:

$$T_3 = T_k + \frac{Q}{\sigma_3}$$

Определяется реальная температура внутри корпуса:

$$T_{\text{реал}} = T_k + \frac{P}{\sigma_3}$$

Далее необходимо сделать вывод о возможности применения искусственной или естественной вентиляции при разработке проектируемого блока, с указанными исходными данными.

Таблица 16 – Варианты заданий для теплового расчета блока электронного изделия в герметизированном корпусе

№	Ширина корпуса, мм	Глубина корпуса, мм	Высота корпуса, мм	Материал поверхности корпуса	$T_{max}$ , °C	$P$ , Вт	$K_3$	$A_2$
1.	240	230	70	Алюминиевая краска	61	15	0,8	1,35
2.	245	220	80	Бронзовая краска	62	14	0,82	1,37
3.	250	215	85	Дюралюминий Д-16	63	13	0,84	1,38
4.	255	210	90	Железо	64	12	0,86	1,39
5.	260	205	95	Ковар	65	11	0,88	1,41
6.	265	200	100	Лак белый	61	15	0,90	1,43
7.	270	235	65	Лак черный	62	14	0,92	1,45
8.	275	245	60	Латунь листовая прокатанная	63	13	0,94	1,49
9.	280	250	55	Медь окисленная	64	12	0,96	1,51
10.	285	255	50	Медь полированная	65	11	0,93	1,53
11.	290	260	80	Муар черный	61	15	0,91	1,55
12.	295	265	85	Олово (луженое железо)	62	14	0,89	1,57
13.	300	270	90	Силумин	63	13	0,87	1,60
14.	235	275	95	Сталь окисленная	64	12	0,85	1,62
15.	230	280	100	Цинк полированный	65	11	0,83	1,36

### Контрольные вопросы

1. Какие методы отвода тепла имеют место при естественной воздушной конвекции?
2. От чего зависит эффективность охлаждения изделия?
3. С какой целью используются перфорация и жалюзи?
4. В каких условиях эксплуатации целесообразно использование перфорации, а в каких – жалюзи?
5. Чем обусловлены рекомендации по формированию геометрических размеров корпуса?
6. Какие материалы используются при производстве корпусов?
7. Оцените эффективность применения различных материалов корпусов с точки зрения обеспечения нормального теплового режима.

## 8. Практическое задание №8. Расчет надежности блока электронного изделия

**Цель работы:** провести расчет надежности ФЯ и сделать вывод удовлетворяет ли ФЯ требованиям технического задания.

### Краткие теоретические сведения

При проектировании ЭА стремятся создать конструкцию, удовлетворяющую оптимальным соотношениям между заданными техническими характеристиками изделия, надежностью в заданных условиях эксплуатации и технологичностью конструкции. На этапе эскизного проектирования проводятся ориентировочные расчеты, учитывающие влияние на надежность только количества и типов, применяемых ЭК. На этапе технического проекта расчеты проводятся на уровне ячейки с учетом реальных электрических и тепловых режимов работы.

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности ЭА по известным характеристикам надежности составляющих компонентов (ЭК, ПП, паяные соединения, соединитель) и условиям эксплуатации. Наиболее точная количественная мера надёжности каждого изделия – его индивидуальная наработка до момента возникновения отказа. Основной характеристикой надёжности является интенсивность отказов [1, 4].

Расчет всего блока представляет собой объемную задачу вследствие большого числа входящих в него компонентов. При разработке блока на отдельные ячейки, входящие в его состав, даются собственные требования по надежности. Совокупность этих требований дает общую надежность блока. Поэтому необходимо будет выполнить расчет одной из ячеек, входящих в блок.

**Исходные данные.** Заданную наработку на отказ ( $T_{cp}, ч$ ), серию микросхем, температура для всех ЭК, количество металлизированных отверстий в ПП, количество контактов разъема, условия эксплуатации блока следует взять из таблицы 19 согласно варианту.

Интенсивность отказов элементов с учетом условий эксплуатации ЭК определяется следующим образом:

$$\lambda_i = N_i \lambda_{oi} \alpha_i(T, k_H),$$

где  $N_i$  – количество элементов  $i$ -го типа,  $\lambda_{oi}$  – номинальная интенсивность отказов элемента  $i$ -го типа;  $\alpha_i$  – поправочный коэффициент для  $i$ -го ЭК, зависящий от температуры и коэффициента нагрузки  $k_H$ .

$k_H = k_1 k_2 k_3 k_4$  – поправочные коэффициенты на условия эксплуатации (таблица 17);  $k_1$  и  $k_2$  – поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия механических факторов (вибрации, удары),  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 1$  (условия эксплуатации лабораторная ЭА);  $k_3$  – поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры,  $k_3 = 2$  (для влажности 93% при температуре +25°C);  $k_4$  – поправочный коэффициент в

зависимости от давления воздуха,  $k_4 = 1$  (нормальное давление). Тогда  $k_H = k_1 k_2 k_3 k_4 = 1 * 1 * 2 * 1 = 2$

Влияние температуры при расчете надежности учитывают, используя коэффициенты электрической нагрузки  $k_H$  и температуру блока, полученную в результате теплового расчета,  $\alpha_i(T, k_H)$  – поправочный коэффициент в зависимости от температуры  $T$  и коэффициента нагрузки  $k_H$ . Определяется по графикам (рисунок 14, 15, 16, 17) [4]. Также значения поправочных коэффициентов представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Значения поправочных коэффициентов

<b>Значения поправочных коэффициентов, учитывающих влияние механических воздействий</b>			
<i>Условия эксплуатации</i>		<i>Значение коэффициента</i>	
Лабораторные		1,00	
Стационарные		1,07	
Полевые		1,07	
Корабельные		1,37	
Автомобильные		1,46	
Железнодорожные		1,57	
Самолетные		1,65	
<b>Значения поправочных коэффициентов, учитывающих влияние относительной влажности</b>			
<i>Относительная влажность</i>		<i>Значение коэффициента</i>	
60...70% при $t = 20...40$ °C		1,00	
90...98% при $t = 20...25$ °C		2,00	
90...98% при $t = 30...40$ °C		2,50	
<b>Значения поправочных коэффициентов, учитывающих атмосферное давление (высоту над уровнем моря)</b>			
<i>Высота, км</i>	<i>Значение коэффициента</i>	<i>Высота, км</i>	<i>Значение коэффициента</i>
0...1	1,00	5...6	1,16
1...2	1,05	6...8	1,20
2...3	1,10	8...10	1,25
3...5	1,14	10...15	1,30

Режим электрической нагрузки учитывается коэффициентом нагрузки  $k_H$ . Например, при общей температуре для всех ЭК равной  $T = 48$ °C средние значения коэффициентов нагрузки равны: для резисторов – 0,6; для конденсаторов – 0,7; для диодов – 0,5; для реле – 0,7. Тогда поправочный коэффициент  $\alpha_i(T, k_H)$  равен: для резисторов – 1; для конденсаторов – 0,6; для диодов – 0,6; для реле – 1. Значение  $\lambda_{oi}$  для используемых в ячейке (рисунок 10) ЭК приведены в таблице 18.

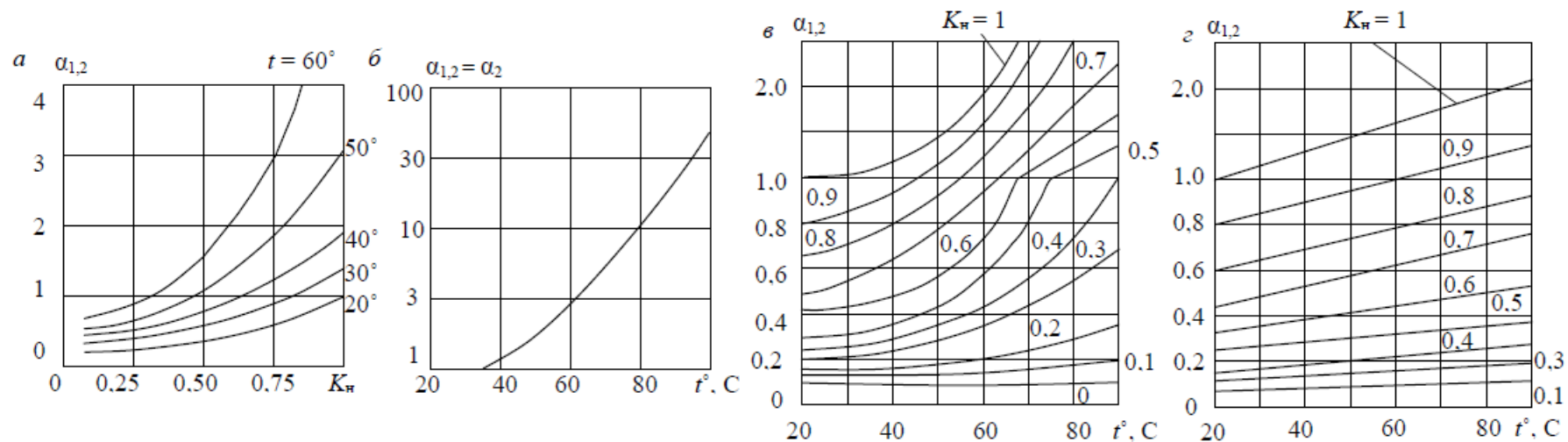


Рисунок 14 – Обобщенные зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1,2}$  от температуры и коэффициента нагрузки: а) для контактных элементов (разъемов, реле, переключателей и т.п.); б) для соединений пайкой; в) для резисторов типов МЛТ и ОМЛТ; г) для переменных проволочных резисторов

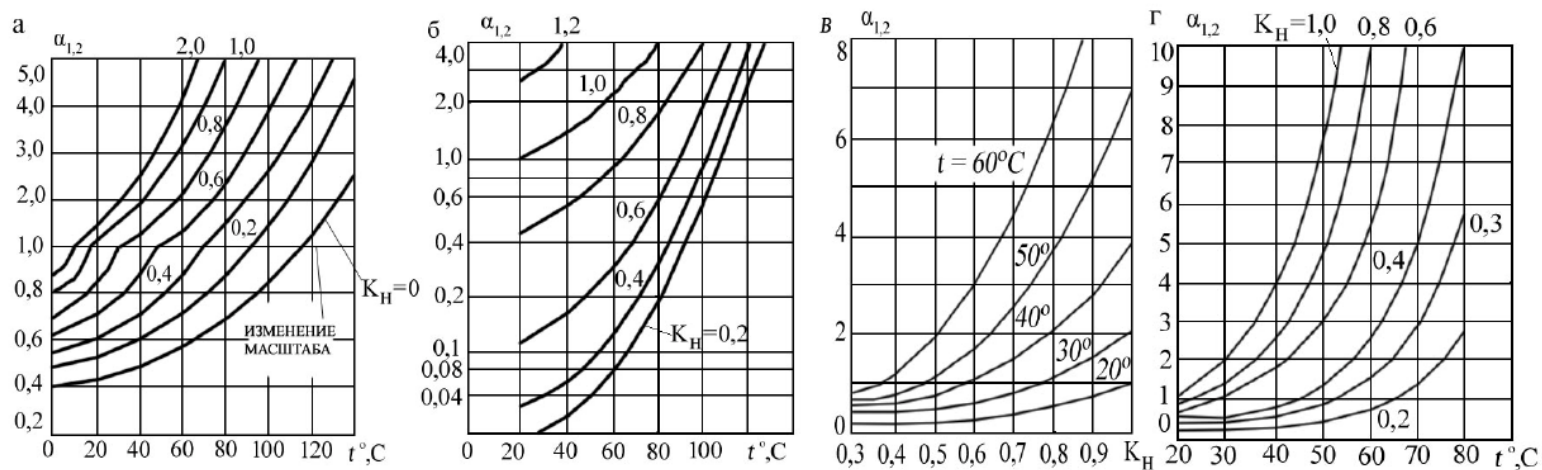


Рисунок 15 – Обобщённые зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1,2}$  от температуры и коэффициента нагрузки: а) для резисторов; б) - для неполярных конденсаторов; в) для изделий, имеющих обмотки; г) для электролитических конденсаторов

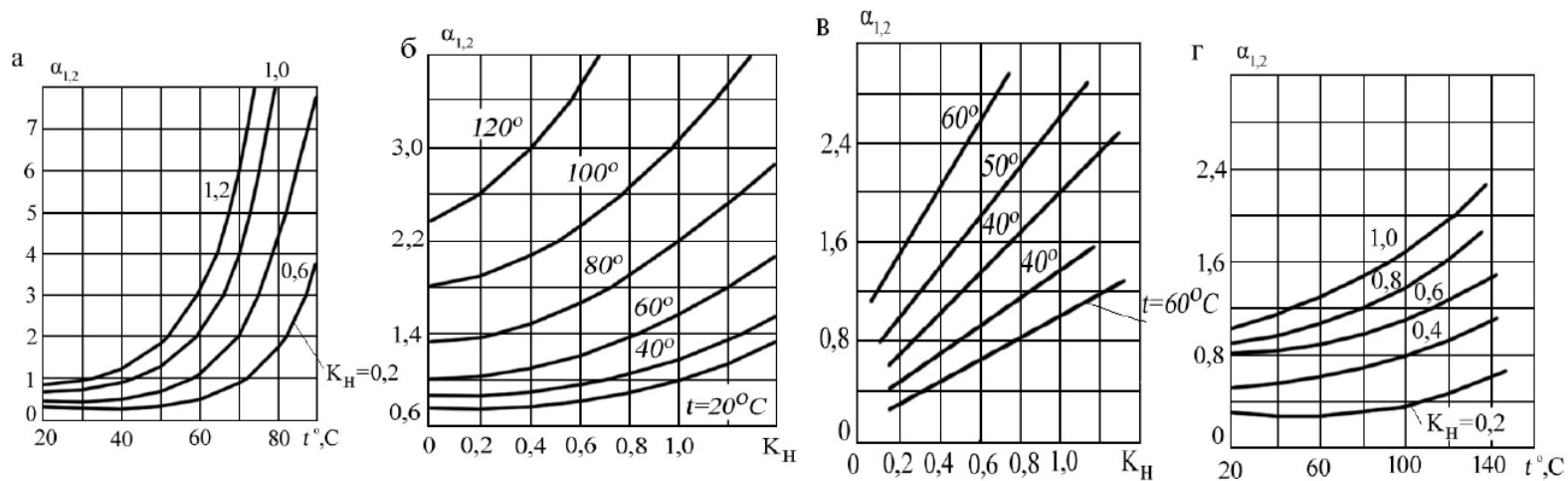


Рисунок 16 – Обобщённые зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1,2}$  от температуры и коэффициента нагрузки для полупроводниковых приборов: а) германиевых диодов; б) кремниевых диодов; в) германиевых транзисторов; г) кремниевых транзисторов

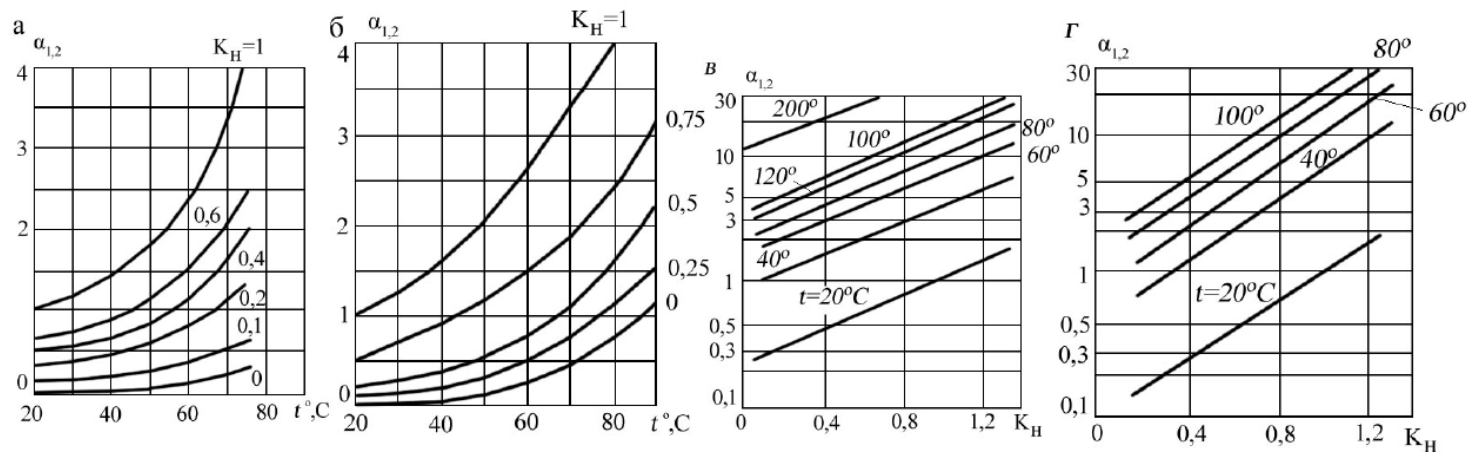


Рисунок 17 – Обобщённые зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1,2}$  от температуры и коэффициента нагрузки: а) для кремниевых высокочастотных транзисторов; б) для германиевых высокочастотных транзисторов; в) для полупроводниковых цифровых интегральных микросхем; г) для полупроводниковых линейно-импульсных интегральных микросхем



Таблица 18 – Интенсивность отказов по типам элементов

№	Элемент	Обозначение	$\lambda_{oi} \times 10^{-6}, 1/ч$	Кол-во, шт.
1.	Резисторы: С2-33Н-0,25; С2-33Н-0,5; С2-33Н-2	$\lambda_{0.R1}; \lambda_{0.R2}; \lambda_{0.R3}$	0,087	25; 12; 3
2.	Диоды: 2Д522Б; 2Д106А	$\lambda_{0.vd1}; \lambda_{0.vd2}$	0,2	7; 3
3.	Конденсаторы: К10-17	$\lambda_{0.oc1}$	0,04	8
4.	Реле РЭС80	$\lambda_{0.ок1}$	2	13
5.	Печатная плата	$\lambda_{0.пп}$	0,7	1
6.	Паяное соединение	$\lambda_{0.ом}$	0,01	300
7.	Микросхемы	$\lambda_{0.имс}$	0,013	3
8.	Соединитель	$\lambda_{0.соед}$	0,062*96	1

Интенсивность отказов всей системы считается следующим образом

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{oi} \alpha_i(T, k_H)$$

где  $n$  – количество типов элементов; для ЭК с несколькими выводами ( $n_B > 1$ ), при расчете паяных соединений необходимо  $N_i n_B$ .

Среднее время наработки на отказ

$$T_{\text{ср.расч}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n N_i \lambda_{oi} \alpha_i(T, k_H)}$$

где  $T_{\text{ср.расч}}$  – наработка на отказ устройства (наработкой на отказ называют среднюю продолжительность работы аппаратуры между отказами).

Затем необходимо сравнить расчетное среднее время наработки на отказ с заданным временем наработки на отказ ячейки и сделать вывод.

Расчёт вероятности работы производится по формуле

$$P = e^{-\frac{t}{T}},$$

где  $P$  – вероятность безотказной работы;  $t$  – время, за которое задаётся вероятность.

### Контрольные вопросы

1. Что необходимо сделать, если расчетное время наработки на отказ меньше заданного в техническом задании?
2. С помощью, каких программ можно осуществлять автоматизированный расчет надежности электронной аппаратуры?
3. Какие трудности возникают при проведении расчета надежности с помощью программных пакетов?

Таблица 19 – Варианты заданий для расчета надежности функциональной ячейки

№	T <sub>ср</sub> , час	Серия микросхем, шт.	Температура для всех ЭК, °С	Кол-во металл-ых отверстий, шт.	Разъем, кол-во, кол-во контактов, шт.	Условия эксплуатации	Отн. влажность, %, высота над уров. моря, км.	
1.	55 000	K555, 10	47	49	СНП17, 1,52	Лабораторные	68, 1	
2.	56 000	K101, 8	48	48	ГРПМШ1, 2,46	Стационарные	70, 2	
3.	57 000	KP127, 6	49	47	СНО, 1, 64	Полевые	90, 3	
4.	58 000	K580, 4	50	46	РПН10, 2,36	Корабельные	94, 2	
5.	59 000	K145, 5	51	45	ГРПМ, 1,32	Автомо-ные	69, 7	
6.	60 000	KP140, 7	47	44	РСТВ, 4, 10	Железно-ные	92, 9	
7.	61 000	K174, 9	48	43	СШР, 3, 60	Самолетные	88, 15	
8.	62 000	K124, 12	49	42	РПС, 4, 15	Лабораторные	64, 2	
9.	63 000	K237, 11	50	41	РПН7, 4,15	Стационарные	60, 1	
10.	74 000	K224, 10	51	40	ГРППЗ, 2, 46	Полевые	75, 3	
11.	75 000	K538, 9	47	39	РТФ, 2, 14	Корабельные	90, 2	
12.	76 000	K161, 8	48	38	СНП, 2, 58	Автомо-ные	73,4	
13.	67000	KP513, 7	49	37	РППМ17, 3, 52	Железно-ные	78, 6	
14.	68 000	K155, 16	50	36	СНЦ22, 4, 22	Самолетные	86, 8	
15.	69 000	KP521, 9	51	35	СНП, 2, 60	Лабораторные	61, 1	
№	Конденсатор, шт.	Паяное соединение, шт.	Печ-ый проводник, шт.	Плата, шт.	Диоды, шт.	Переключатель, шт.	Резистор, шт.	Реле, шт.
1.	K10-17, 10	с печатным монтажом, 171	250	2	2Д102, 1	ПДМ1, 2	МЛТ, 8	РБП
2.	K50-35, 11	с объемным монтажом, 190	310	1	2Д103,2	ПГ39, 1	МТ, 9	РНЕ
3.	K10-19, 12	с печатным монтажом, 125	266	3	2Д104,3	ПП9, 2	ОМЛТ, 11	РКМП
4.	K10-26, 13	с объемным монтажом, 175	278	2	КД105,4	11ПКМ49-1, 2	ПЭ, 12	РМУГ
5.	K10-38, 14	с печатным монтажом, 163	299	1	2Д123,5	ВДМ3, 2	ПЭВТ, 14	РПА
6.	K15-4, 15	с объемным монтажом, 144	246	3	2Д204, 1	ВДМ5, 2	Р1-4, 16	РПВ2
7.	K15-13, 16	с печатным монтажом, 210	268	2	2Д210, 2	МПН-1, 3	РП1-46, 8	РЭН29
8.	K21-7, 18	с объемным монтажом, 189	286	1	2Д212,3	МПВ-1-1	С2, 15	РЭС9
9.	K26-4, 20	с печатным монтажом, 211	301	3	2Д213,4	П2Г3, 2	СП, 14	РЭС15
10.	K31-14, 21	с объемным монтажом, 150	317	2	КД226,5	ПГ2, 2	МЛТ, 11	РЭС22
11.	K42-18, 23	с печатным монтажом, 233	296	1	2Д219,1	ПГ43, 3	МТ, 13	РЭС32
12.	K70-6, 24	с объемным монтажом, 189	275	3	2Д245,2	ПКИ, 2	ОМЛТ, 7	РЭС39
13.	K73-31, 25	с печатным монтажом, 222	268	2	КД209,3	ПП11, 1	ПЭ, 15	РЭС43
14.	K77-4, 26	с объемным монтажом, 186	254	1	2Д231,4	ПП21, 1	ПЭВТ, 9	РЭС49
15.	K75-54, 18	с печатным монтажом, 169	288	3	2Д251,5	ПР2, 2	Р1-4, 16	РЭС55

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате освоения изложенного материала студенты научатся производить инженерные расчеты: габаритных размеров печатной платы, габаритов блока электронного изделия, печатной платы на действие вибраций, толщины печатной платы, печатной платы на действие удара, температуры поверхности электронного изделия, тепловой расчет блока электронного изделия в герметизированном корпусе и расчет надежности блока электронного изделия. Практические задания включают расчеты, как на механические воздействия, так и на тепловые, а также в пособие включен расчет на надежность, что обеспечивает полный цикл конструирования электронных средств.

В ходе выполнения практических заданий студенты получают знания об инженерных расчетах составных частей конструкций электронных средств: блоков, печатных плат, микросхем; приобретут навыки анализа результатов, полученных в ходе расчетов.

Полученные знания и навыки позволят выпускникам работать в организациях, занимающихся разработкой конструкций изделий различных уровней конструктивной иерархии: микросхем, типовых элементов замены (включающих печатную плату), блоков. А также студенты приобретут следующие компетенции: готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств и готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник – М.: ФОРУМ: ИНФАРА-М, 2005. – 560 с.
2. Романова Е.Б. Разработка методов повышения эффективности САПР электронных устройств на основе использования трехмерной модели: дис. канд. тех. наук: Специальность 05.13.12: защищена 17.11.2009. – СПб, 2009.
3. Борисов В.Ф. Конструирование РЭС: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, А.С. Назаров и др. – М.:МАИ,1996. – 96 с.
4. Алдонин Г.М. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств». Курс лекций и презентаций для лекционных занятий/ Г.М. Алдонин, А.М. Алешечкин, М.М. Валиханов и др. – ИПЦ СФУ, 2011. – 360 с.
5. Бородин С.М. Обеспечение тепловых режимов в конструкциях радиоэлектронных средств: учебное пособие/С.М. Бородин – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 52 с.
6. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.

**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

## **КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

### **ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ**

**1945-1966 РЛПУ** (кафедра радиолокационных приборов и устройств). Решением Советского правительства в августе 1945 г. в ЛИТМО был открыт факультет электроприборостроения. Приказом по институту от 17 сентября 1945 г. на этом факультете была организована кафедра радиолокационных приборов и устройств, которая стала готовить инженеров, специализирующихся в новых направлениях радиоэлектронной техники, таких как радиолокация, радиоуправление, теленаведение и др. Организатором и первым заведующим кафедрой был д.т.н., профессор С. И. Зилин-тинкевич (до 1951 г.). Выпускникам кафедры присваивалась квалификация инженер-радиомеханик, а с 1956 г. – радиоинженер (специальность 0705).

В разные годы кафедрой заведовали доцент Б.С. Мишин, доцент И.П. Захаров, доцент А.Н. Иванов.

**1966–1970 КиПРЭА** (кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры). Каждый учебный план специальности 0705 коренным образом отличался от предыдущих планов радиотехнической специальности своей четко выраженной конструкторско-технологической направленностью. Оканчивающим институт по этой специальности присваивалась квалификация инженер-конструктор-технолог РЭА.

Заведовал кафедрой доцент А.Н. Иванов.

**1970–1988 КиПЭВА** (кафедра конструирования и производства электронной вычислительной аппаратуры). Бурное развитие электронной вычислительной техники и внедрение ее во все отрасли народного хозяйства потребовали от отечественной радиоэлектронной промышленности решения новых ответственных задач. Кафедра стала готовить инженеров по специальности 0648. Подготовка проводилась по двум направлениям – автоматизация конструирования ЭВА и технология микроэлектронных устройств ЭВА.

Заведовали кафедрой: д.т.н., проф. В.В. Новиков (до 1976 г.), затем проф. Г.А. Петухов.

**1988–1997 МАП** (кафедра микроэлектроники и автоматизации проектирования). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств (специальность 2205). Выпускники этой кафедры имеют хорошую технологическую подготовку и успешно работают как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 требуются микроэлектронной промышленности и предприятиям-разработчикам вычислительных систем.

Кафедрой с 1988 г. по 1992 г. руководил проф. С.А. Арустамов, затем снова проф. Г.А. Петухов.

С 1996 г. кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

**1997–2011 ПКС** (кафедра проектирования компьютерных систем). Кафедра выпускала инженеров по специальности 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств». Область профессиональной деятельности выпускников включала в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, дизайна и условиям эксплуатации. Кроме того, кафедра готовила специалистов по защите информации, специальность 090104 «Комплексная защита объектов информатизации». Объектами профессиональной деятельности специалиста по защите информации являются методы, средства и системы обеспечения защиты информации на объектах информатизации.

В 2009 и 2010 годах кафедра заняла второе, а в 2011 году – почетное первое место в конкурсе среди кафедр университета.

С **2011 ПБКС** (кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем). Кафедра осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлениям 090900 «Информационная безопасность» (с 2013г. коды направления: для бакалавров 10.03.01, для магистров 10.04.01) и 211000 «Конструирование и технология электронных средств» (с 2013г. коды направления: для бакалавров 11.03.03, для магистров 11.04.03), а также продолжает подготовку инженеров по специальностям 090104 и 210202.

За время своего существования кафедра выпустила более 4750 инженеров, бакалавров и магистров. На кафедре защищено 75 кандидатских и 11 докторских диссертаций.