

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Рекомендовано УМО вузов Республики Беларусь по образованию  
в области информатики и радиоэлектроники в качестве  
учебно-методического пособия  
для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования  
по специальности 1-36 04 01  
«Электронно-оптические системы и технологии»*

Минск БГУИР 2012

УДК 621.396.6(075.8)  
ББК 32.844я73  
К65

**А в т о р ы:**

А. А. Костюкевич, В. М. Бондарик, А. П. Достанко, В. Ф. Алексеев

**Р е ц е н з е н т ы:**

заведующий кафедрой информационных систем и технологий  
учреждения образования «Белорусский государственный  
технический университет»,  
доктор технических наук, профессор П. П. Урбанович;  
кафедра электронных вычислительных машин и систем  
учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет»  
(протокол №1 от 29.08.2011)

**К65** **Конструирование** и технология электронных систем. Курсовое  
проектирование : учеб.-метод. пособие / А. А. Костюкевич [и др.]. –  
Минск : БГУИР, 2011. – 119 с. : ил.  
ISBN 978-985-488-549-0.

Приведены общие требования к курсовому проекту, методики конструирования электронных систем и технологии их изготовления, а также требования к оформлению пояснительной записки и комплекта конструкторских и технологических документов.

Цель пособия – научить студентов самостоятельно проектировать электронные системы различной конфигурации и технологические процессы сборки и монтажа электронных модулей, входящих в их состав.

Предназначено для студентов специальности 1-36 04 01 «Электронно-оптические системы и технологии», а также других родственных специальностей высших технических учебных заведений.

**УДК 621.396.6(075.8)**  
**ББК 32.844я73**

**ISBN 978-985-488-549-0**

© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	3
1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ .....	4
1.1 Цели курсового проектирования.....	4
1.2 Тематика курсового проектирования .....	4
1.3 Структура и содержание курсового проекта .....	4
1.4 Структура и содержание пояснительной записки.....	5
2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА.....	8
2.1 Выбор и обоснование элементной базы .....	8
2.2 Компонентный расчет .....	9
2.3 Определение теплового режима блока ЭА .....	10
2.4 Расчет надежности.....	18
2.5 Конструирование и расчет печатных плат .....	25
2.6 Расчет блока РЭС на механические воздействия .....	37
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ .....	41
3.1 Оценка технологичности конструкций электронных модулей .....	41
3.2 Разработка технологической схемы сборки электронного блока .....	44
3.3 Разработка маршрутной технологии сборки электронного модуля и выбор оптимального варианта технологического процесса .....	51
3.4 Разработка операционной технологии и оформление комплекта технологических документов на процесс сборки электронного блока.....	55
4 ОФОРМЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ .....	61
4.1 Комплектность конструкторских документов.....	61
4.2 Особенности обозначения конструкторских документов .....	62
4.3 Правила оформления схем.....	64
4.4 Правила оформления спецификаций .....	72
4.5 Особенности оформления чертежей плат печатных.....	76
4.6 Правила оформления сборочных чертежей .....	80
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А Пример оформления задания на курсовое проектирование	90
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Данные к расчету поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ В Максимальные значения интенсивностей отказов элементов ЭА .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Значения поправочных коэффициентов .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Средние значения случайного времени восстановления $\tau_j$ элементов и функциональных частей ЭА .....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Оборудование для сборки и монтажа электронных модулей.....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Оборудование для поверхностного монтажа .....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ И Примеры заполнения технологических документов .....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ К Пример оформления схемы электрической принципиальной устройства .....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Пример выполнения перечня элементов к схеме электрической принципиальной .....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ М Пример выполнения спецификации .....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ Н Пример оформления чертежа печатной платы .....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ П Пример оформления сборочного чертежа печатного узла	118

# 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

## 1.1 Цели курсового проектирования

Выполнение курсового проекта является заключительным этапом изучения студентами дисциплины «Конструирование и технология электронных систем».

Цели курсового проектирования:

- закрепление и углубление теоретических и практических знаний по дисциплине и применение их для решения конкретных задач;
- формирование навыков ведения самостоятельной работы и овладение методикой проектирования;
- приобретение навыков обобщения и анализа результатов, полученных другими разработчиками.

## 1.2 Тематика курсового проектирования

Тематика курсового проектирования должна быть актуальной, соответствовать современному состоянию и перспективам развития науки, техники и образования. Темой курсового проектирования является разработка конструкции и технологии сборки и монтажа блока электронной аппаратуры (ЭА) в целом или его части.

Объектами курсовых проектов могут быть:

- блоки измерительной аппаратуры;
- устройства управления специальным технологическим оборудованием с применением мини- и микроЭВМ, микропроцессоров;
- вычислительные устройства робототехнических систем, гибких автоматизированных производств и средства их сопряжения с исполнительными механизмами;
- узлы и блоки технических средств САПР ЭА;
- устройства группового управления пультами;
- лазерные устройства отображения информации;
- устройства регистрации и считывания графической и алфавитно-цифровой информации в РЭС;
- устройства распознавания графической и символьной информации;
- устройства считывания трехмерной информации для ЭВМ и т. д.

## 1.3 Структура и содержание курсового проекта

Содержание и объем курсового проекта определяется кафедрой. Курсовой проект включает:

- задание на курсовое проектирование;
- пояснительную записку;
- комплект технологических документов на технологический процесс изготовления электронного модуля;
- графическую часть.

Объем расчетов, графических работ, технологических разработок определяется руководителем проекта и указывается в задании на курсовое проектирование. В процессе проектирования объем работ может быть скорректирован.

Задание на курсовое проектирование должно касаться именно той части устройства, которая является объектом проектирования. Задание на курсовое проектирование должно включать:

- назначение и объект установки разрабатываемого изделия, его связь с другими частями устройства, внешней средой и человеком-оператором;
- электрические параметры с указанием наиболее характерных данных для проектируемого изделия;
- вид источника электрического питания (сеть, генератор, аккумулятор и т. п.), его напряжение и стабильность;
- эксплуатационные характеристики: режим и характер работы изделия (непрерывный, циклический и т. д.), требования к устойчивости проектируемого изделия к различным видам воздействий (диапазон рабочих температур, относительная влажность, частотный диапазон, уровень вибраций и т. д.);
- основные конструктивные характеристики (форма, габариты, масса);
- планируемую программу выпуска проектируемого изделия в год;
- специальные требования, специфичные для проектируемого изделия и не оговоренные выше.

Пример оформления задания на курсовое проектирование приведен в приложении А.

Пояснительная записка (ПЗ) содержит 30–40 страниц машинописного текста.

Графическая часть курсового проекта должна включать комплект чертежей:

- схема электрическая принципиальная – 1 л. формата А1–А2;
- сборочный чертеж устройства – 1 л. формата А1–А2;
- сборочный чертеж электронного модуля устройства – 1 л. формата А1–А2;
- чертеж печатной платы – 1 л. формата А1–А2;
- технологическая схема сборки электронного модуля устройства – 1 л. формата А2–А3.

Графическую часть курсового проекта рекомендуется разрабатывать с помощью пакетов САПР (PCAD, AutoCAD, T-FLEX CAD и др.) и графических редакторов (PhotoShop, CorelDraw, VisioPro и др.).

#### **1.4 Структура и содержание пояснительной записки**

Общими требованиями по оформлению пояснительной записки к курсовому проекту являются: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и ясность формулировок, исключающих неоднозначность толкования, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов. Пояснительная записка к курсовому проекту

должна в четкой форме раскрывать творческий замысел проекта, содержать принятые методы расчета и сами расчеты, их анализ и выводы по ним, и сопровождаться иллюстрациями: графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т. п.

Пояснительная записка к курсовому проекту комплектуется в следующем порядке:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование;
- содержание;
- введение;
- основная часть в виде разделов;
- заключение (выводы);
- список использованных источников;
- приложения;
- ведомость курсового проекта

### ***Титульный лист***

На титульном листе должны быть приведены следующие сведения: наименование высшего учебного заведения, факультета, кафедры и дисциплины; фамилия, имя, отчество автора; наименование темы курсового проекта, город, год, а также обозначение пояснительной записки, включающее пятибуквенный код организации – БГУИР, двухбуквенный код типа документа: КП – курсовой проект; код классификационной характеристики специальности 1–XX XX XX; порядковый номер темы с добавлением букв ПЗ. Пример оформления титульного листа приведен в [50]

### ***Содержание***

Содержание включает в себя названия структурных частей ПЗ курсового проекта («Введение», «Основная часть», «Заключение», «Список использованных источников», «Приложения»), названия всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых начинаются соответствующие части ПЗ. Содержание размещают в начале ПЗ, т. к. это дает возможность сразу увидеть структуру курсового проекта.

### ***Введение***

Введение – вступительная, начальная часть ПЗ курсового проекта представляет собой короткий раздел до 2 страниц. Во введении необходимо отразить актуальность темы проекта, оценить современное состояние выбранной технической задачи, показать перспективные пути ее решения.

### ***Основная часть***

Основную часть ПЗ составляют разделы, в которых основное внимание должно быть уделено следующим вопросам:

- анализу исходных данных и разработке технического задания (ТЗ) на проектирование изделия;
- выбору и обоснованию пассивных и активных комплектующих элемен-

тов, материалов для конструкции проектируемого изделия, вида монтажа;

- выбору и обоснованию конструктивного исполнения изделия, способов защиты его от воздействия дестабилизирующих факторов;

- детальной проработке основных конструктивных элементов изделия (печатные платы, несущие конструкции и т. п.) и разработке необходимой конструкторской документации;

- технологической проработке изделия или его части (разработка технологической схемы сборки; вариантов технологического маршрута сборки и монтажа; выбор оптимального варианта маршрута, разработка комплекта технологических документов и т. д.).

При изложении общей концепции и основных методов проектирования приводится теоретическое обоснование предлагаемых методов, алгоритмов решения задач, излагается их суть, дается обоснование выбора принятого направления разработки.

Порядок изложения во всей ПЗ должен соответствовать цели проектирования. Логичность построения и целенаправленность изложения основного содержания достигается только тогда, когда каждый раздел имеет определенное целевое назначение и является базой для последующих.

При оформлении ПЗ к курсовому проекту студент обязан давать ссылки на библиографические и другие источники, из которых он заимствует материалы или отдельные результаты. Цитирование допускается только с обязательным использованием кавычек. Не допускается компилятивный пересказ текста и отдельных фрагментов текста других авторов.

### ***Заключение***

В этом разделе должны содержаться основные результаты проектирования и выводы, сделанные на их основе, а также возможные пути их практического использования.

### ***Список использованных источников***

В данном разделе приводится (по алфавиту или в порядке упоминания) перечень источников информации (патенты, научно-техническая и методическая литература, нормативно-технические документы), на которые в ПЗ приводятся ссылки.

### ***Приложения***

В приложениях следует размещать вспомогательный материал, необходимый для полноты восприятия курсового проекта:

- спецификации и перечни элементов разработанной КД;
- комплект технологической документации;
- распечатки результатов расчетов на ЭВМ.

При оформлении ПЗ необходимо руководствоваться требованиями и ограничениями, подробно изложенными в разделе 2 стандарта БГУИР СТП01–2010 [49].

## 2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА

### 2.1 Выбор и обоснование элементной базы

Выбор элементной базы производится на основе схемы электрической принципиальной с учетом изложенных в ТЗ условий и требований. Эксплуатационная надежность элементной базы в основном определяется правильным выбором типа элементов при проектировании для использования в режимах, которые не превышают предельно допустимые.

Критерием отбора электрорадиоэлементов (ЭРЭ) является соответствие технических и эксплуатационных характеристик ЭРЭ заданным условиям работы и эксплуатации.

Основными параметрами при выборе ЭРЭ являются:

1 Технические параметры:

– номинальное значение параметров ЭРЭ согласно схеме электрической принципиальной прибора;

– допустимые отклонения величины параметра ЭРЭ от номинального значения;

– допустимое рабочее напряжение ЭРЭ;

– допустимая мощность рассеивания ЭРЭ;

– диапазон рабочих частот ЭРЭ;

– коэффициент электрической нагрузки ЭРЭ;

– другие показатели.

2 Эксплуатационные параметры:

– диапазон рабочих температур;

– относительная влажность воздуха;

– атмосферное давление;

– вибрационные нагрузки;

– другие показатели.

Выбор элементной базы по вышеназванным критериям позволяет обеспечить надежную работу изделия.

Дополнительными критериями при выборе ЭРЭ являются:

– унификация;

– масса и габариты;

– наименьшая стоимость;

– надежность.

Применение принципов стандартизации и унификации ЭРЭ при конструировании изделия позволяет получить следующие преимущества:

– значительно уменьшить сроки и стоимость проектирования;

– сократить на предприятии номенклатуру примененных деталей и сборочных единиц;

– увеличить масштабы производства;



– исключить разработку специальной оснастки и специального оборудования для каждого нового варианта схемы, т. е. упростить подготовку производства;

– создать специализированное производство стандартных и унифицированных сборочных единиц для централизованного обеспечения предприятия;

– улучшить эксплуатационную и производственную технологичность;

– снизить себестоимость выпуска проектируемого изделия.

## 2.2 Компоновочный расчет

Под компоновкой электронной аппаратуры понимается процесс размещения комплектующих модулей, изделий электронной техники (ИЭТ) и деталей ЭА на плоскости или в пространстве с определением основных геометрических форм и размеров, а также ориентировочное определение массы изделия. На практике задача компоновки чаще всего решается путем размещения готовых элементов с заданными формами, размером и весом на плоскости с учетом электрических, магнитных, механических, тепловых и других видов связи. При компоновке нужно стремиться к тому, чтобы:

– обеспечивалось отсутствие заметных паразитных электрических и магнитных взаимосвязей, влияющих на технические характеристики изделия;

– взаимное расположение элементов обеспечивало технологичность сборки и монтажа, легкий доступ для контроля, ремонта и обслуживания;

– изделие удовлетворяло требованиям технической эстетики;

– габариты и масса изделия были минимальными.

Существуют различные способы компоновки аппаратуры. В курсовом проекте необходимо выполнить аналитический расчет компоновочных параметров, в основе которого лежит представление геометрических параметров ЭА в виде чисел.

*Исходными данными для компоновочного расчета являются:* перечень элементов, габаритные и установочные размеры ИЭТ. Методика расчета заключается в следующем.

1 Определяется суммарная площадь  $S_{ИЭТ}$ , занимаемая всеми ИЭТ:

$$S_{ИЭТ} = \sum_{i=1}^n S_{yi}, \quad (2.1)$$

где  $S_{yi}$  – значение установочной площади  $i$ -го элемента;

$n$  – количество элементов.

2 Рассчитывается приблизительная площадь печатной платы с учетом способа монтажа (односторонний, двусторонний):

$$S_{Пл} = \frac{S_{ИЭТ}}{(k_{зПл} \cdot m)}, \quad (2.2)$$

где  $k_{зПл}$  – коэффициент заполнения платы печатной, как правило, должен быть в пределах от 0,3 до 0,8;

$m$  – количество сторон монтажа (1, 2).

Исходя из рассчитанной площади платы и высоты ИЭТ определяют ее приблизительные габаритные размеры.

При оценке приблизительных габаритных размеров всего устройства два размера из трех определяют по рассчитанным размерам платы печатной с учетом допусков на зазоры между платой и корпусом, толщины корпуса, особенностей дизайна устройства и т. п. Третий размер определяется с учетом максимально высоких элементов, размещаемых на плате, и размеров, обусловленных особенностью разрабатываемой конструкции (способ крепления платы в корпусе, толщина корпуса, наличие дополнительных деталей на корпусе и т. п.).

Допускается выполнять предварительный расчет габаритных размеров электронной аппаратуры по следующей методике.

1 Определяется суммарный объем, занимаемый всеми ИЭТ и деталями:

$$V_{\text{ИЭТ}} = \sum_{i=1}^n v_i + \sum_{j=1}^m v_j, \quad (2.3)$$

где  $V_i$  – значение объема  $i$ -го ИЭТ;

$V_j$  – значение объема  $j$ -й детали;

$n$  – количество ИЭТ;

$m$  – количество деталей.

2 Оценивается приблизительный объем всего устройства:

$$V_y = \frac{V_{\text{ИЭТ}}}{K_3}, \quad (2.4)$$

где  $K_3$  – коэффициент заполнения устройства по объему выбирают из задания на курсовое проектирование (для ориентировочного расчета можно использовать значение от 0,2 до 0,6).

3 По вычисленному объему определяются приблизительные габаритные размеры всего устройства.

Полученные в результате расчета данные сравнивают с заданием на курсовое проектирование. В обоснованных случаях по согласованию с преподавателем допускается корректировка исходных данных на проектирование.

## 2.3 Определение теплового режима блока ЭА

### 2.3.1 Выбор способа охлаждения блока ЭА на ранней стадии конструирования

Для выбора способа охлаждения требуются следующие исходные данные:

– суммарная мощность  $P$ , рассеиваемая в блоке (как правило, задана в ТЗ или должна быть рассчитана);

- диапазон изменения температуры окружающей среды  $T_{c \max}$ ,  $T_{c \min}$  (как правило, задан в ТЗ или определяется исходя из условий эксплуатации по ГОСТ 15150-69 и общих технических условий на проектируемое устройство);
- пределы изменения давления окружающей среды  $H_{c \max}$ ,  $H_{c \min}$  (как правило, заданы в ТЗ или определяется исходя из условий эксплуатации по ГОСТ 15150-69 и общих технических условий на проектируемое устройство);
- время непрерывной работы  $\tau$  (режим работы должен быть длительным);
- допустимые температуры элементов  $T_i$ ;
- коэффициент заполнения устройства (блока) по объему  $K_3$  (как правило, его задают в ТЗ и он составляет не ниже 0,5);
- габаритные горизонтальные и вертикальные размеры корпуса блока ЭА соответственно  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ .

Эти исходные данные недостаточны для детального расчета теплового режима, но их можно использовать для предварительной оценки.

Выбор способа охлаждения на ранней стадии конструирования имеет вероятностный характер, т. е. дает возможность оценить вероятность обеспечения заданного по ТЗ теплового режима ЭА при выбранном способе охлаждения.

Выбор способа охлаждения можно осуществить с помощью графиков, характеризующих области целесообразного применения различных способов охлаждения (рисунок 2.1).

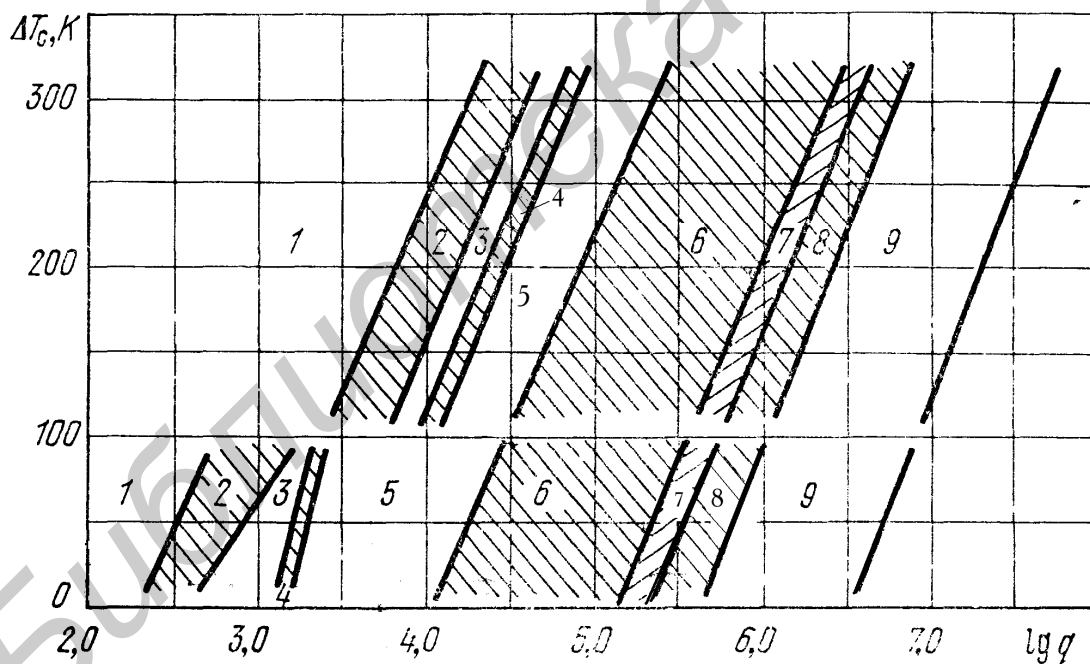


Рисунок 2.1 – Выбор способа охлаждения ЭА

На рисунке 2.1 имеется два типа областей. Области, в которых можно рекомендовать применение определенного способа охлаждения, и области, в которых с примерно одинаковым успехом можно применять два или три способа охлаждения. Области первого типа не заштрихованы, области второго типа — заштрихованы.

Верхние кривые, соответствующие  $\Delta T_c > 373 \text{ К}$  ( $100^\circ\text{С}$ ), обычно применяются для выбора способа охлаждения больших элементов, так как допустимые температуры их охлаждаемых поверхностей часто выше  $373 \text{ К}$ . Нижние кривые применяются для выбора способа охлаждения блоков, стоек и т.п., выполненных на интегральных схемах, дискретных и микроминиатюрных элементах, так как для них обычно  $\Delta T_c < 373 \text{ К}$ . Поэтому области целесообразного применения различных способов воздушного охлаждения в верхней части графика не являются продолжением соответствующих кривых в нижней части.

В курсовом проекте Вы будете работать только с нижней областью графика.

Пределы изменения давления окружающей среды интересуют нас с точки зрения выявления минимального давления, при котором работает ЭА.

Для удобства пользования графиками необходимо из перечисленных выше исходных данных получить ряд комплексных показателей. Размеры корпуса блока и коэффициент заполнения используются для определения условной величины поверхности теплообмена:

$$S_{\Pi} = 2 \left[ L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot L_3 \cdot K_3 \right]. \quad (2.5)$$

За основной показатель, определяющий область применения целесообразного способа охлаждения, принимается величина плотности теплового потока, проходящего через поверхность теплообмена:

$$q = \frac{P \cdot K_p}{S_{\Pi}}, \quad (2.6)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий давление воздуха (при атмосферном давлении  $K_p = 1$ ).

Вторым определяющим показателем может служить минимально допустимый перегрев элементов ЭА:

$$\Delta T_{C \min} = T_{i \min} - T_C, \quad (2.7)$$

где  $T_{i \min}$  – допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента по ТЗ, т. е. элемента, для которого допустимая температура имеет минимальное значение;

$T_C$  – температура окружающей среды;

Для естественного охлаждения  $T_C = T_{C \max}$ , т.е. она соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ.

Для принудительного воздушного охлаждения  $T_C = T_{\text{вх max}}$ , т.е. она соответствует температуре воздуха на входе в блок ЭА.

На рисунке 2.1 области целесообразного применения различных способов охлаждения приведены в координатах  $\Delta T_C$  и  $\lg q$ . Имеется два типа областей: области, в которых можно рекомендовать применение определенного способа

охлаждения, и области, в которых с примерно одинаковым успехом можно применять два или три способа охлаждения. Области первого типа не заштрихованы и относятся к следующим способам охлаждения: 1 – естественному воздушному, 3 – принудительному воздушному, 5 – принудительному жидкостному, 9 – принудительному испарительному. Области второго типа заштрихованы и относятся к следующим способам охлаждения: 2 – возможному применению естественного и принудительного воздушного охлаждения, 4 – возможному применению принудительного воздушного и жидкостного охлаждения, 6 – возможному применению принудительного жидкостного и естественного испарительного охлаждения, 7 – возможному применению принудительного жидкостного, принудительного и естественного испарительного охлаждения, 8 – возможному применению естественного и принудительного испарительного охлаждения.

Наиболее полно задача выбора способа охлаждения разработана для области 2, так как в настоящее время накоплен большой опыт разработки ЭА с воздушным охлаждением.

Более подробно с методикой выбора способа охлаждения можно ознакомиться в [12].

### 2.3.2 Тепловой режим блока в герметичном корпусе при естественном воздушном охлаждении

Используя основные закономерности теории теплообмена, рассмотрим методику расчета теплового режима (ТР) герметичного блока при естественном воздушном охлаждении (рисунок 2.2).

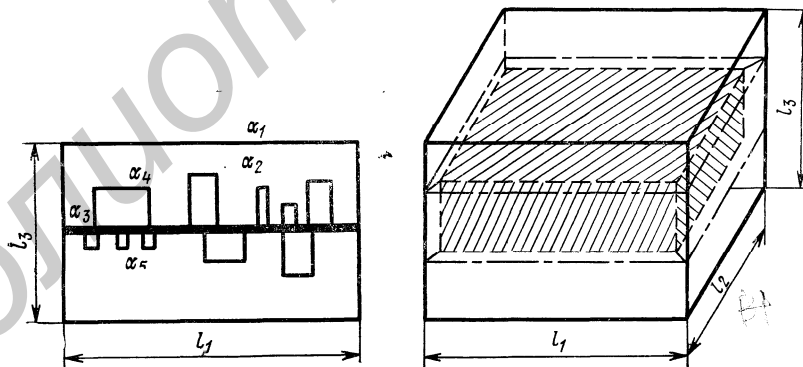


Рисунок 2.2 – Схематическое изображение блока ЭА в герметичном корпусе и его физическая тепловая модель

Представим тепловую модель блока в виде системы двух тел: корпуса и нагретой зоны в форме прямоугольного параллелепипеда, разделенных воздушными прослойками. Тепловая энергия, выделяемая источниками энергии в нагретой зоне, передается кожуху аппарата путем лучистого и конвекционного

теплообмена посредством воздуха внутри блока, а от него – в окружающую среду также конвекцией и излучением.

Расчет ТР блока ЭА заключается в определении температур нагретой зоны и поверхностей теплонагруженных ЭРЭ, а также температуры других характерных зон аппарата (воздуха внутри блока, кожуха блока).

Для расчета ТР требуются следующие исходные данные:

- суммарная рассеиваемая в блоке мощность  $P$ ;
- температура окружающей среды  $T_C$ ;
- давление окружающей среды вне корпуса блока  $H_1$ ;
- давление окружающей среды внутри корпуса блока  $H_2$ ;
- время непрерывной работы  $\tau$ ;
- допустимые температуры элементов  $T_i$ ;
- коэффициент заполнения блока по объему  $K_3$ ;
- габаритные горизонтальные и вертикальные размеры корпуса блока соответственно  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ ;
- площади охлаждаемой поверхности теплонагруженных элементов  $S_n$ .

Суммарная рассеиваемая в блоке мощность  $P$  может быть определена как сумма рассеиваемых мощностей всех ЭРЭ, входящих в блок, или как потребляемая блоком мощность, указанная в ТЗ.

В качестве значений температуры окружающей среды  $T_C$  и давления окружающей среды вне корпуса блока  $H_1$  в расчетах следует принимать величины максимальной температуры  $T_{C \max}$  и максимального давления  $H_{\max}$  окружающей среды, заданных в ТЗ.

Методика расчета теплового режима блока ЭА в герметичном корпусе заключается в следующем:

1 Рассчитывается поверхность корпуса блока:

$$S_K = 2 [L_1 L_2 + (L_1 + L_2)L_3], \quad (2.8)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – горизонтальные размеры корпуса блока, м;

$L_3$  – вертикальный размер, м.

2 Определяется условная поверхность нагретой зоны:

$$S_3 = 2 [L_1 L_2 + (L_1 + L_2)L_3 K_{3y}]. \quad (2.9)$$

3 Определяется удельная мощность корпуса блока:

$$q_K = \frac{P}{S_K}. \quad (2.10)$$

4 Определяется удельная мощность нагретой зоны:

$$q_3 = \frac{P}{S_3}. \quad (2.11)$$

5 Находится коэффициент  $\Theta_1$  в зависимости от удельной мощности корпуса блока:

$$\Theta_1 = 0,1472 \cdot q_K - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot q_K^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot q_K^3. \quad (2.12)$$

6 Находится коэффициент  $\Theta_2$  в зависимости от удельной мощности нагретой зоны:

$$\Theta_2 = 0,1390 \cdot q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot q_3^3. \quad (2.13)$$

7 Находится коэффициент  $K_{H_1}$  в зависимости от давления среды вне корпуса блока  $H_1$ :

$$K_{H_1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} H_1}. \quad (2.14)$$

8 Находится коэффициент  $K_{H_2}$  в зависимости от давления среды внутри корпуса блока  $H_2$ :

$$K_{H_2} = 0,82 + \frac{1}{1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5} H_2}. \quad (2.15)$$

9 Определяется перегрев корпуса блока:

$$\Theta_K = \Theta_1 \cdot K_{H_1}. \quad (2.16)$$

10 Рассчитывается перегрев нагретой зоны:

$$\Theta_3 = \Theta_K + (\Theta_2 - \Theta_1) K_{H_2}. \quad (2.17)$$

11 Определяется средний перегрев воздуха в блоке:

$$\Theta_B = 0,5(\Theta_K + \Theta_3). \quad (2.18)$$

12 Определяется удельная мощность элемента:

$$q_{эл} = \frac{P_{эл}}{S_{эл}}, \quad (2.19)$$

где  $P_{эл}$  – мощность, рассеиваемая элементом, температуру которого требуется определить, Вт;

$S_{эл}$  – площадь поверхности элемента (вместе с радиатором), омываемая воздухом,  $m^2$ .

13 Рассчитывается перегрев поверхности элемента:

$$\Theta_{эл} = \Theta_3 \left( 0,75 + 0,25 \frac{q_{эл}}{q_3} \right). \quad (2.20)$$

14 Рассчитывается перегрев среды, окружающей элемент:

$$\Theta_{\text{эс}} = \Theta_{\text{в}} (0,75 + 0,25 \frac{q_{\text{эл}}}{q_3}). \quad (2.21)$$

15 Определяется температура корпуса блока:

$$T_{\text{к}} = \Theta_{\text{к}} + T_{\text{с}}. \quad (2.22)$$

16 Определяется температура нагретой зоны:

$$T_3 = \Theta_3 + T_{\text{с}}. \quad (2.23)$$

17 Находится температура поверхности элемента:

$$T_{\text{эл}} = \Theta_{\text{эл}} + T_{\text{с}}. \quad (2.24)$$

18 Находится средняя температура воздуха в блоке:

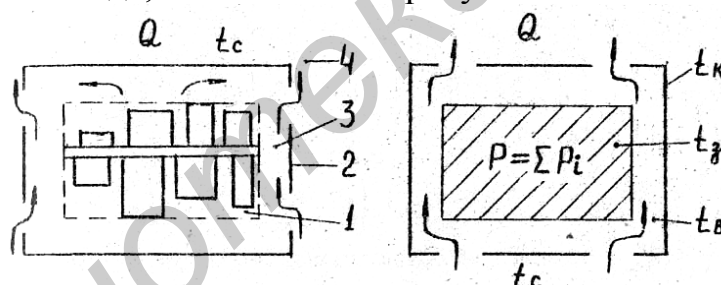
$$T_{\text{в}} = \Theta_{\text{в}} + T_{\text{с}}. \quad (2.25)$$

19 Находится температура среды, окружающей элемент:

$$T_{\text{эс}} = \Theta_{\text{эс}} + T_{\text{с}}. \quad (2.26)$$

### 2.3.3 Тепловой режим блока в перфорированном корпусе при естественной вентиляции

Обобщенную тепловую модель такой системы с незамкнутой оболочкой можно представить в виде, показанном на рисунке 2.3.



1 – нагретая зона; 2 – корпус блока; 3 – воздух внутри блока;  $t_{\text{к}}$  – температура корпуса блока;  $t_3$  – температура нагретой зоны;  $t_{\text{в}}$  – температура воздуха внутри корпуса (блока)

Рисунок 2.3 – Тепловая модель блока РЭА в перфорированном корпусе

Рассмотрим теплообмен, протекающий в данной системе тел. Тепловая энергия, выделяемая нагретой зоной, передается конвекцией воздуху, омывающему нагретую зону внутри корпуса, и излучением внутренним стенкам корпуса, а также излучением во внешнюю среду через отверстия в корпусе (в расчетах учитываться не будет).

Энергия, полученная кожухом корпуса, передается конвекцией воздуху внутри корпуса, а также излучением и конвекцией в окружающую среду.

Тепловая энергия, полученная воздухом внутри корпуса при конвективном теплообмене с зоной и внутренней поверхностью корпуса, уносится пото-



ком проходящего воздуха в окружающую среду. Движение воздуха вызвано разностью температур, а следовательно, и давлений внутри и снаружи аппарата.

Расчет ТР блока ЭА заключается в определении температур нагретой зоны и поверхностей теплонагруженных ЭРЭ, а также температуры других характерных зон аппарата (воздуха внутри блока, кожуха блока).

Для расчета ТР требуются следующие исходные данные:

- суммарная рассеиваемая в блоке мощность  $P$ ;
- температура окружающей среды  $T_C$ ;
- давление окружающей среды вне корпуса блока  $H_1$ ;
- давление окружающей среды внутри корпуса блока  $H_2$ ;
- время непрерывной работы  $\tau$ ;
- допустимые температуры элементов  $T_i$ ;
- коэффициент заполнения блока по объему  $K_3$ ;
- габаритные горизонтальные и вертикальные размеры корпуса блока соответственно  $L_1, L_2$  и  $L_3$ ;
- площади перфорированных отверстий  $S$ .

Методика расчета теплового режима блока ЭА в перфорированном корпусе при естественной вентиляции заключается в следующем.

1 Рассчитываются: площадь поверхности корпуса блока, площадь условной поверхности нагретой зоны, удельная мощность корпуса блока, удельная мощность нагретой зоны по формулам (2.8) – (2.11).

2 Определяются коэффициенты  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  в зависимости от удельной мощности корпуса блока и удельной мощности нагретой зоны по формулам (2.12), (2.13).

3 Определяются коэффициенты  $K_{H1}$  и  $K_{H2}$  в зависимости от давления вне и внутри корпуса блока по формулам (2.14) и (2.15).

4 Рассчитывается площадь перфорационных отверстий. Для прямоугольных отверстий (рисунок 2.4, б и в)  $S = nl_3$ , где  $n$  – количество отверстий,  $l_1$  – горизонтальный размер отверстия,  $l_3$  – вертикальный размер отверстия. Для круглых отверстий (рисунок 2.4, а)  $S = n\pi d^2/4$ , где  $d$  – диаметр отверстия.

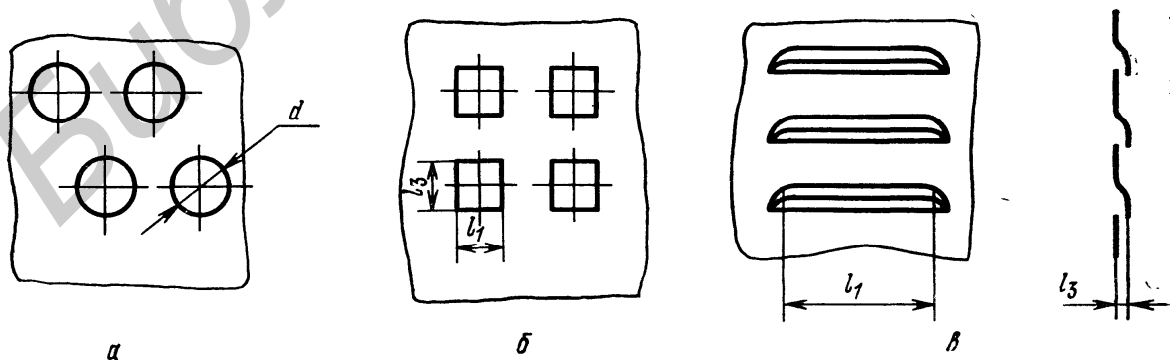


Рисунок 2.4 – Конфигурация перфорационных отверстий

Если в корпусе присутствует несколько типов перфорационных отверстий, то их суммарная площадь определяется как

$$S_n = \sum_{i=1}^n S_i . \quad (2.27)$$

5 Рассчитывается коэффициент перфорации:

$$\Pi = \frac{S_n}{2L_1L_2} . \quad (2.28)$$

6 Определяется коэффициент, являющийся функцией коэффициента перфорации:

$$K_{\Pi} = 0,29 + \frac{1}{1,41 + 4,95 \cdot \Pi} . \quad (2.29)$$

7 Определяется перегрев корпуса блока:

$$\Theta_K = 0,93 \cdot \Theta_1 \cdot K_{H1} \cdot K_{H2} . \quad (2.30)$$

8 Определяется перегрев нагретой зоны:

$$\Theta_3 = 0,93 K_{\Pi} \cdot [\Theta_1 \cdot K_{H1} + (\frac{\Theta_2}{0,93} - \Theta_1) \cdot K_{H2}] . \quad (2.31)$$

9 Определяется средний перегрев воздуха в блоке:

$$\Theta_B = 0,6 \cdot \Theta_3 . \quad (2.32)$$

10 Определяется удельная мощность элемента, перегрев поверхности элемента и перегрев среды, окружающей элемент, по формулам (2.19) – (2.21).

11 Определяются температура корпуса блока, температура нагретой зоны, температура поверхности элемента, средняя температура воздуха в блоке и температура среды, окружающей элемент по формулам (2.22) – (2.26).

## 2.4 Расчет надежности

Надежность является одним из свойств, которые определяют качество электронной аппаратуры. Существующие методы расчета показателей безотказности и ремонтпригодности ЭА различаются степенью точности учета электрического режима, условий работы, конструкторско-технологических, функциональных и других особенностей элементов, входящих в состав устройства.

Выделяют два этапа оценки надежности блоков ЭА:

1) *ориентировочный расчет* показателей безотказности (выполняют на ранней стадии проектирования);

2) *уточненный расчет* показателей надежности (выполняют на заключительных стадиях проектирования).

Расчеты выполняются при следующих допущениях:

- а) отказы элементов случайны и независимы;
- б) для элементов справедлив экспоненциальный закон надежности;
- в) принимаются во внимание только внезапные отказы, т. е. с данной точки зрения вероятность отсутствия постепенных отказов равна единице;

г) учитываются только элементы электрической схемы, а также монтажные соединения, если вид соединений заранее определен;

д) при уточненном расчете данные о электрическом режиме и условиях эксплуатации элементов учитываются более точно, чем при ориентировочном расчете, и, кроме того, принимаются во внимание конструктивные элементы устройства (шасси, корпус провода и т. п.).

Основное расчетное соотношение для вероятности безотказной работы устройства получают в предположении, что элементы электрической схемы ЭА с точки зрения надежности соединены последовательно (рисунок 2.5). Эта модель надежности ЭА означает, что отказ ЭА в целом происходит при отказе хотя бы одного из элементов.

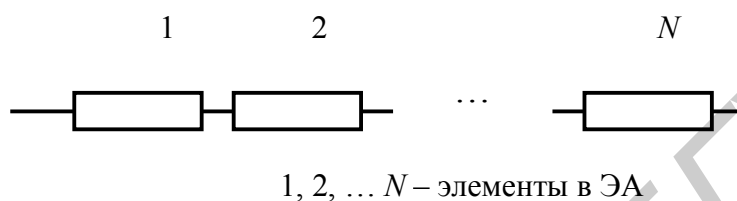


Рисунок 2.5 – Схема (модель) соединения элементов в ЭА с точки зрения надёжности

В настоящее время для высоконадежных элементов для оценки интенсивности отказов используют расчет и прогнозирование, принимая во внимание структурную сложность таких элементов и опыт эксплуатации аналогичных элементов. Интенсивность отказов ( $\lambda$ ) современных элементов находится в диапазоне  $10^{-10} \dots 10^{-5}$  1/ч. Интенсивность отказов на каждый конкретный элемент обычно указывается в технической документации предприятия-изготовителя. Для учебных целей можно воспользоваться таблицей приложения В или учебной литературой, например [10]. Необходимо учитывать, что для элементов коммутации интенсивность отказов задается на один контакт кнопки, реле и т. п., штырь разъема, контактную группу переключателя и на метр длины монтажного или соединительного провода при номинальном токе (плотности тока).

При расчетах надежности необходимо учитывать то, что для поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК) интенсивность отказов обычно ниже в несколько раз. Надежность ИМС слабо зависит от степени интеграции, т. к. максимально ненадежными элементами являются корпус и соединения внутри него.

Надежность элементов зависит также от коэффициентов электрической нагрузки:

$$K_H = F_{РАБ}/F_{НОМ} , \quad (2.33)$$

где  $F_{РАБ}$  – электрическая нагрузка элемента в рабочем режиме, т. е. нагрузка, которая имеет место на рассматриваемом схемном элементе;

$F_{НОМ}$  – номинальная или предельная по ТУ электрическая нагрузка элемента, выполняющего в конструкции функцию схемного элемента.

В качестве электрической нагрузки  $F_{\text{НОМ}}$  необходимо использовать номинальные или предельные по ТУ электрические характеристики элементов, выбранных для проектируемой ЭА. Электрические характеристики  $F_{\text{РАБ}}$  следует брать из результатов электрического расчета принципиальной электрической схемы ЭА или получать путем экспресс-анализа (ориентировочной оценки) электрических нагрузок схемных элементов.

На практике при определении коэффициента электрической нагрузки конкретного элемента выбирают такую электрическую характеристику (одну или несколько), которая в наибольшей степени влияет на надежность этого элемента. Например, для резисторов это мощность рассеяния, для конденсаторов – напряжение, для низковольтных (до 300 В) элементов коммутации – ток через контакт, для цифровых ИМС – выходной ток, для транзисторов – мощность, рассеиваемая на коллекторе (стоке), ток коллектора или напряжение на коллекторе и т. п.

Для транзисторов, диодов и аналоговых ИМС в качестве определяющего параметра выбирается тот, для которого  $K_H \geq 0,05 \dots 0,1$ .

Справочные значения интенсивностей отказов элементов соответствуют  $K_H = 1$  и нормальным (лабораторным) условиям эксплуатации. На практике выбирают режимы работы ЭА с  $K_H < 1$  для ее элементов и с более жесткими условиями эксплуатации. Поэтому необходимо производить перерасчет справочных значений интенсивностей отказов с учетом реального коэффициента нагрузки и условий эксплуатации. Для перерасчета интенсивностей отказов пользуются выражением

$$\lambda(v) = \lambda_0 \cdot \varphi(x_1, \dots, x_n), \quad (2.34)$$

где  $\lambda(v)$  – значение интенсивности отказов с учетом электрического режима и условий эксплуатации;

$\lambda_0$  – справочное значение интенсивности отказов;

$\varphi(x_1, \dots, x_n)$  – перерасчетная функция;

$x_1, \dots, x_n$  – факторы, принимаемые во внимание (коэффициент нагрузки, температура, характер электрического режима и т. п.)

Перерасчетная функция определяется выражением

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n \alpha(x_i), \quad (2.35)$$

где  $\alpha(x_i)$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние фактора  $x_i$ ;

$n$  – количество факторов.

При расчетах надежности изделий наиболее часто учитывают влияние двух факторов – коэффициента электрической нагрузки и температуры. В этом случае для определения перерасчетной функции можно пользоваться номограммами, построенными для различных видов элементов по результатам экспериментальных исследований (приложение Б).

В курсовом проекте необходимо выполнить расчет надежности всего устройства. В данном пособии в качестве примеров приведены расчеты отдельного блока.

### 2.4.1 Ориентировочный расчет показателей безотказности каскада блока ЭА

Данный расчет надежности выполняется на ранней стадии проектирования, обычно на стадии эскизного проекта (ЭП). На практике используют различные разновидности ориентировочного расчета. Простейшая из них описана в [10]. В этом случае учет электрического режима, температуры, других параметров окружающей среды и факторов, влияющих на эксплуатационную безотказность элементов, выполняется приближенно с помощью обобщенного эксплуатационного коэффициента  $K_{Э.ОБ}$ . Значение этого коэффициента зависит от вида ЭА и условий ее эксплуатации (таблица 2.1).

В качестве исходных данных для расчета выступают условия эксплуатации (наземные стационарные) и заданное время работы блока ( $t_3 = 1000$  ч). Предполагается, что блок будет изготовлен с использованием печатного монтажа. Принципиальная электрическая схема каскада представлена на рисунке 2.6.

Таблица 2.1 – Значения обобщенного эксплуатационного коэффициента  $K_{Э.ОБ}$

Условия эксплуатации	Значение $K_{Э.ОБ}$
Лабораторные условия	1,0
Помещения с регулируемой температурой и влажностью	1,1
Космос (на орбите)	1,5
Наземные стационарные условия	2...4,7 (2,5)
Наземные возимые РЭУ	4...7 (5,0)
Наземные подвижные (переносимые) РЭУ	7...15 (7,0)
Морские защищенные условия	7...12 (7,6)
Морские незащищенные условия	7...15 (10,0)
Бортовые самолетные РЭУ	5...10 (7,0)
Запуск ракеты	10...44 (20,0)

*Примечание* – В скобках указаны значения, рекомендуемые для использования в расчетах в случае недостаточности данных об условиях эксплуатации.

#### **Решение**

1 Сформируем группы однотипных элементов и для каждой группы по справочным данным (приложение В) определим значение интенсивностей отказов, соответствующее в среднем элементам каждой группы. Для резисторов выбираем значение интенсивности отказов, соответствующее мощности рассеивания менее 0,5 Вт при переменном токе. Аналогично выбираем значения интенсивностей отказов для керамических конденсаторов и остальных элементов (таблица 2.2). Число паек можно определить как суммарное число выводов

элементов и внешних выводов блока ЭА с учетом того, что монтаж будет выполняться в металлизированные отверстия печатной платы.

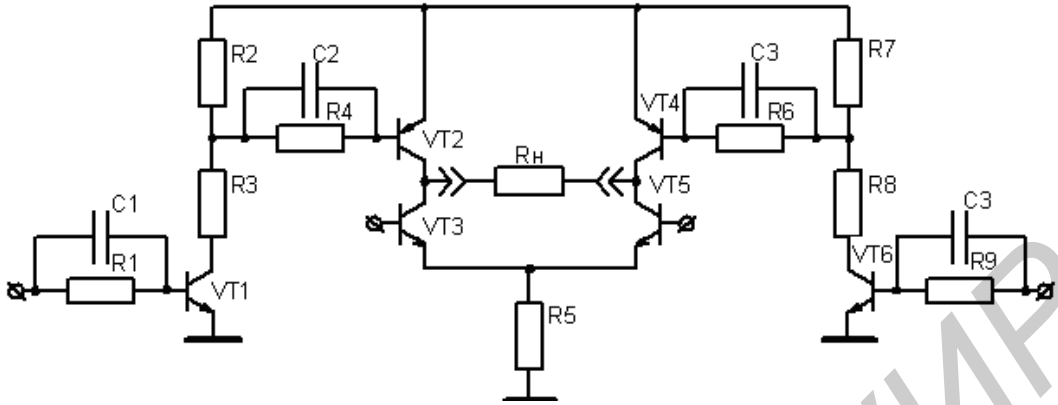


Рисунок 2.6 – Электрическая принципиальная схема каскада блока ЭА

2 С помощью обобщенного эксплуатационного коэффициента, найденного по справочным таблицам (см. таблицу 2.1) для наземных стационарных условий, скорректируем величину  $\lambda_{\Sigma}$ , учтя тем самым приближенно электрический режим и условия работы элементов каскада.

$$\lambda_{\Sigma}(v) = \lambda_{\Sigma} \times K_3 = 7,5 \times 10^{-6} \times 2,5 = 18,75 \times 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Таблица 2.2 – Ориентировочный расчет надежности

Группа элементов ( $j$ )	Количество элементов в $j$ -й группе ( $n_j$ )	Интенсивность отказов для элементов $j$ -й группы $\lambda_{0j} \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$	Произведение $\lambda_{0j} \times n_j \times 10^{-6} \text{ 1/ч}$
Транзистор средней мощности	4	0,45	1,8
Транзистор высокой мощности	2	0,50	1,0
Резистор	9	0,10	0,9
Конденсатор	4	0,05	0,2
Вилка выходная	2	0,70	1,4
Плата печатная	1	0,20	0,2
Пайка	50	0,04	2,0
$\Sigma$	-	-	7,5

3 По формулам для экспоненциального закона надежности [10] подсчитываем другие показатели надежности:

а) наработка блока ЭА на отказ :

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}(v)} = \frac{1}{18,75 \times 10^{-6}} \approx 53\,333 \text{ ч.}$$

Заметим, что данное значение наработки на отказ носит расчетный характер, поскольку ресурс такого элемента, как например транзистор, заметно меньше рассчитанного значения  $T_0$ ;

б) вероятность безотказной работы за время  $t_3 = 1000 \text{ ч}$  :

$$P(t_3) = e^{-t_3 \cdot \lambda_{\Sigma}(v)} = e^{-1000 \times 18,75 \times 10^{-6}} \approx 0,981;$$

в) гамма-процентная наработка до отказа (при  $\gamma = 99\%$ )

$$T_{\gamma} = -\frac{\ln\left(\frac{\gamma}{100}\right)}{\lambda_{\Sigma}(v)} = -\frac{\ln 0,99}{18,75 \times 10^{-6}} \approx 540 \text{ ч.}$$

В отличие от  $T_0$  показатели  $P(t)$  и  $T_{\gamma}$  имеют физический смысл.

#### 2.4.2 Уточненный расчет показателей безотказности и ремонтпригодности каскада блока ЭА

Проведем уточненный расчет показателей безотказности и ремонтпригодности каскада блока ЭА, рассмотренного в пункте 2.4.1.

Примем следующие значения параметров элементов:  $R1, R9 = 6,4 \text{ кОм} \pm 10\%$ ;  $R2, R7 = 470 \text{ Ом} \pm 10\%$ ;  $R3, R8 = 16 \text{ кОм} \pm 10\%$ ;  $R4, R6 = 4,1 \text{ Ом} \pm 10\%$ ;  $R5 = 20 \text{ Ом} \pm 10\%$ ;  $C1, C4 = 7500 \text{ пФ} \pm 20\%$ ;  $C2, C3 = 5600 \text{ пФ} \pm 20\%$ .

Для сборки каскада использован печатный монтаж в металлизированные отверстия. Тип выбранных резисторов С2–С23 с номинальной мощностью рассеивания  $P_{\text{ном}} = 0,125 \text{ Вт}$  и допуском на сопротивление  $\pm 10\%$ . Тип выбранного конденсатора – К10-17 с напряжением  $U_{\text{ном}} = 40 \text{ В}$ . Тип транзисторов – VT1, VT6 – КТ520А, VT2, VT3 – КТ521А, VT3, VT5 – КТ969А. В качестве выходной вилки Х1 используется оригинальное изделие с двумя контактными группами. Напряжение источника питания  $U_{\text{пит}} = 200 \text{ В} \pm 10\%$ . Каскад используется в составе блока ЭА, для которого характерны следующие условия эксплуатации:

- диапазон рабочих температур:  $-10 \dots +45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха до  $80\%$  при температуре  $+25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- атмосферное давление  $930 \pm 13 \text{ кПа}$ .

Предварительный расчет теплового режима блока ЭА, в котором используется выходной каскад, показал, что перегрев в нагретой зоне составляет не более  $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , а средний перегрев воздуха в устройстве – примерно  $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **Решение**

1 Определяется коэффициент электрической нагрузки и рабочая температура всех элементов каскада.

Значения коэффициентов электрической нагрузки и рабочей температуры для выбранных элементов выходного каскада в учебных целях допускается определять методом экспертных оценок при расчете схемы электрической принципиальной и выборе элементной базы.

Значения коэффициентов электрической нагрузки и температуры элементов внесены в таблицу 2.3.

2 Формируем группы однотипных элементов.

При формировании групп однотипных элементов необходимо учитывать, что рассматриваемый каскад ЭА состоит из двух однотипных звеньев.

Резисторы R1, R3...R6, R8, R9 включаем в одну группу, т. к. для них  $K_H < 0,1$ . Самостоятельные группы составляют точки паек и плата печатная.

3 Определяем суммарную интенсивность отказов элементов каскада и результаты расчетов заносим в таблицу 2.3. При этом справочные значения интенсивностей отказов находим по таблице максимальных значений интенсивностей отказов элементов (см. приложение В), а поправочные коэффициенты  $\alpha_\Sigma$ , учитывающие влияние коэффициентов электрической нагрузки и температуры, определяем по номограммам (см. приложение Б).

Возможно вычисление поправочных коэффициентов  $\alpha_\Sigma$  по формуле (2.35) с учетом данных приложения Г.

Расчетное значение величины  $\lambda_\Sigma(v)$  составляет  $\lambda_\Sigma(v) \approx 12,1 \times 10^{-6}$  1/ч.

4 Определяем наработку каскада на отказ:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_\Sigma(v)} = \frac{1}{12,1 \times 10^{-6}} \approx 82\,650 \text{ ч.}$$

5 Рассчитываем вероятность безотказной работы каскада за время  $t_3 = 1000$  ч. Получим

$$P(t_3) = e^{-1000 \times 12,1 \times 10^{-6}} \approx 0,987;$$

6 Определяем гамма-процентную наработку каскада до отказа для значения  $\gamma = 99$  %:

$$T_\gamma = -\frac{\ln\left(\frac{99}{100}\right)}{12,1 \times 10^{-6}} \approx 830 \text{ ч.}$$

7 Подсчитываем среднее время восстановления  $T_B$ . Расчет величины  $T_B$  будем проводить с использованием справочных значений интенсивностей отказов элементов из таблицы 2.3. Результаты промежуточных вычислений сведем в таблицу 2.4.

С учетом того, что  $\sum_{j=1}^k n_j \lambda_j(v) = 12,81 \times 10^{-6}$  1/ч, получим

$$T_B \approx \frac{8,68 \times 10^{-6}}{12,1 \times 10^{-6}} \approx 0,7 \text{ ч.}$$

8 Подсчитываем значение вероятности восстановления блока за заданное время, например за  $\tau_3 = 1,0$  ч:

$$v(\tau_3) = 1 - e^{-\tau_3/T_B} = 1 - e^{-1/0,7} \approx 0,76.$$

Полученные результаты расчета далее необходимо сравнить с требованиями, предъявляемыми к показателям надежности проектируемого изделия.

Более подробно с методикой расчета надежности и восстанавливаемости блоков ЭА можно ознакомиться в [10] – [12] и [36].



Таблица 2.3 – Уточненный расчет надежности

Группа элементов	Количество элементов в группе ( $n_j$ )	Справочное значение $\lambda_{0j}, \times 10^{-6}$ 1/ч	Коэффициент электрической нагрузки ( $K_H$ )	Расчетная рабочая температура элемента, °С	Произведение поправочных коэффициентов ( $\alpha_\Sigma$ )	Значение $\lambda_o(v), \times 10^{-6}$ 1/ч	Значение $\lambda_o(v) \times n_j, \times 10^{-6}$ 1/ч
VT1, VT6	2	0,60*	0,67	58	1,3	0,78	1,56
VT2, VT4	2	0,60*	0,67	58	1,3	0,78	0,78
VT3 VT5	2	0,50	0,80	69	2,5	1,25	2,5
R2, R7	2	0,10	0,54	69	1,1	0,11	0,22
R1, R3...R6, R8, R9	7	0,10	< 0,1	58	0,15	0,015	0,11
C1, C4	2	0,05	0,10	58	0,07	0,004	0,008
C2, C3	2	0,05	0,13	58	0,07	0,004	0,008
X1	1	0,70**	0,50	58	1,6	1,12	1,12
Плата печатная	1	0,2	–	58	1,0	0,2	0,2
Пайка	46	0,04***	–	58	3,0	0,12	5,52
$\Sigma$			–				$\approx 12,1$

\* – с учетом того, что транзисторы работают в ключевом режиме;

\*\* – с учетом того, что в вилке используются два штыря;

\*\*\* – с учетом того, что постоянный ток в схеме значительно превышает пульсирующий.

Таблица 2.4 – Расчет показателей ремонтпригодности

Группа элементов (j)	Количество элементов в группе ( $n_j$ )	Значение $\lambda_j(v), \times 10^{-6}$ 1/ч	Значение $\tau_j, \text{ч}$ ; табличное [приложение Д]	Произведение $n_j \tau_j \lambda_j(v) \times 10^{-6}$
VT1, VT6	2	0,78	0,8	1,248
VT2, VT4	2	0,78	0,8	1,248
VT3 VT5	2	1,25	0,7	1,75
R2, R7	2	0,11	0,5	0,11
R1, R3...R6, R8, R9	7	0,015	0,5	0,053
C1, C4	2	0,004	1,1	0,009
C2, C3	2	0,004	1,1	0,009
X1	1	1,12	0,8	0,896
Плата печатная	1	0,2	3,0	0,6
Пайка	46	0,12	0,5	2,76
$\Sigma$		–		$\approx 8,68$

## 2.5 Конструирование и расчет печатных плат

Для межконтактных соединений в конструкциях ЭА на первом иерархическом уровне (ячеистый монтаж) применяется в основном печатный монтаж (с помощью печатных плат). Применение печатных плат создает предпосылки для механизации и автоматизации процессов сборки ЭА, повышает их надеж-

ность, обеспечивает повторяемость параметров монтажа (емкость, индуктивность) от образца к образцу.

Печатные платы (ПП) – это элементы конструкции, которые состоят из плоских проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение элементов электрической цепи.

По конструктивному исполнению различают односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП) и гибкие (ГПП) печатные платы.

Печатные платы имеют основные технические требования в соответствии с ГОСТ 23752-79. Элементами печатных плат являются диэлектрическое основание, металлическое покрытие в виде рисунка печатных проводников и контактных площадок, монтажные и фиксирующие отверстия. ГОСТ 23752-79 определяет требования к конструкции и внешнему виду ПП, к устойчивости при климатических и механических воздействиях и т. д.

Основные технические требования к печатным платам:

1 Габаритные размеры печатной платы не должны превышать установленных значений для следующих типов: особо малогабаритных – 60·90 мм; малогабаритных – 120×180 мм; крупногабаритных – 240×360 мм. Толщина печатной платы выбирается из следующего ряда значений: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Допустимые отклонения по толщине не должны превышать: при толщине до 1 мм – ±0,15 мм; до 2 мм – ±0,20 мм; до 3 мм – ±0,30 мм.

2 Плотность монтажа определяется шириной проводников и расстоянием между ними. В соответствии с ГОСТ 23751-86 для печатных плат установлено пять классов точности монтажа.

3 Трассировку рисунка схемы проводят по координатной сетке с шагом 2,5; 1,25; 0,625 мм, а также 0,5 мм по ГОСТ 10317-79. Минимальные диаметры отверстий, располагаемых в узлах координатной сетки, зависят от максимального диаметра вывода навесного элемента, наличия металлизации и толщины платы.

4 Плотность тока в печатных проводниках наружных слоев плат не должна превышать 20 А/мм<sup>2</sup>.

5 Сопротивление изоляции зависит от материала диэлектрического основания и характера электрических цепей, для стеклотекстолита оно должно быть не менее 10<sup>4</sup> МОм.

6 Плотность сцепления печатных проводников с основанием должна составлять не менее 15 МПа.

7 Допустимый уровень рабочего напряжения зависит от расстояния между проводниками: для 2–4 классов  $U_{\text{раб}}$  – до 50 В, для 1 класса  $U_{\text{раб}}$  – до 100 В.

8. Контактные площадки должны смачиваться припоем за 3–5 секунд и выдерживать не менее трех перепаек.

В соответствии с ГОСТ 10317-79 рекомендуется использовать платы прямоугольной формы, размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5; 5 или 10 при длине соответственно до 100; до 350 и свыше 350 мм. Максимальный размер любой из сторон не должен превышать 470 мм,

соотношение сторон – не более 3 : 1. Данные ограничения обусловлены в основном возможностями технологического оборудования по изготовлению ПП. При необходимости возможно отклонение габаритов, соотношения сторон и формы ПП от рекомендуемых.

ГОСТ 23751-86 устанавливает основные конструктивные параметры ПП (размеры печатных проводников, зазоров, контактных площадок, отверстий и т. п.), электрические параметры и т. д.

При выборе толщины печатных плат учитывают метод изготовления и предъявляемые к ним механические требования.

При проектировании ПП применяют следующие способы конструирования: ручной, полуавтоматический, автоматический. Автоматический метод конструирования ПП с использованием специализированных пакетов автоматизированного проектирования (P-CAD, OrCAD и т. п.) в настоящее время является основным.

### 2.5.1 Последовательность разработки и расчета конструкции ПП

- 1 Анализ ТЗ и выбор группы жесткости.
- 2 Выбор типа ПП.
- 3 Выбор класса точности ПП.
- 4 Выбор размеров и конфигурации ПП. Компонентный расчет.
- 5 Выбор материалов ПП.
- 6 Расчет элементов печатного рисунка.
- 7 Выбор и размещение элементов печатного рисунка.
- 8 Трассировка печатных проводников.
- 9 Маркировка и контроль.
- 10 Оформление КД.

### 2.5.2 Анализ ТЗ и выбор группы жесткости

На данном этапе определяют условия эксплуатации, хранения и транспортировки РЭС, условия сборки узлов, требования по ремонтпригодности, технологичности, стоимости и т. д. Затем определяют группу жесткости по климатическим факторам. В соответствии с ГОСТ 23752-79 выделяют 4 группы жесткости (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Группы жесткости печатных плат

Воздействующий фактор	Группа жесткости			
	1	2	3	4
Температура окр. среды, °С	-25...+55	-40...+85	-60...+100	-60...+120
Относ. влажность, %	75	93	98	98
Давление, кПа, (мм. рт. ст.)	101 (760)	53,6(400)	53,6(400)	0,67(5)

### 2.5.3 Выбор типа ПП

В зависимости от сложности схемы, реализуемой на ПП, и руководствуясь экономическими критериями, выбирают тип ПП: ОПП, ДПП или МПП. При

выборе типа ПП следует учитывать, что трудоемкость изготовления ПП приблизительно оценивается пропорцией: ОПП:ДПП:МПП = 1:4:20. В современной ЭА наиболее часто используют ДПП и МПП.

### 2.5.4 Выбор класса точности ПП

Класс точности определяет минимальные значения основных размеров конструктивных элементов (ширина проводника, расстояния между центрами двух проводников (контактных площадок), ширина гарантийного пояса металлизации контактной площадки и др.). ГОСТ 23751-86 определяет 5 классов точности (таблица 2.6).

При использовании технологии поверхностного монтажа, а также ИМС высокой степени интеграции необходимо разрабатывать ПП 3-го и 4-го классов точности.

Таблица 2.6 – Классы точности печатных плат

Параметр	Класс точности			
	2	3	4	5
Мин. ширина проводника, $t$ , мм	0,45	0,25	0,15	0,10
Мин. расстояние между центрами проводников, $S$ , мм	0,45	0,25	0,15	0,10
Мин. ширина гарантийного пояса, $B$ , мм	0,20	0,10	0,05	0,025
Отношение диаметра мин. отверстия к толщине ПП ( $\gamma$ )	1:2,5	1:3	1:4	1:5

### 2.5.5 Выбор размеров и конфигурации ПП

Предварительный выбор размеров и конфигурации ПП выполняется на стадии компоновочного расчета (см. подраздел 2.2).

Размеры и конфигурация ПП определяются конструктивными параметрами блоков ЭА более высокой иерархии.

Быстродействие, установочные размеры, эксплуатационные характеристики, технологические особенности и т. п. также влияют на выбор размеров и конфигурации ПП. Выбирать размеры и конфигурацию ПП необходимо по ГОСТ 10317-79.

Толщину ПП определяют в зависимости от механических нагрузок на ПП и диаметра отверстий.

Обычно соблюдается правило:

$$H > (2,5 \div 5) d_0, \quad (2.36)$$

где  $H$  – толщина ПП;

$d_0$  – минимальный диаметр отверстий.

Для ОПП и ДПП толщина определяется так:

$$H = H_M + n \cdot h_\phi, \quad (2.37)$$

где  $H_M$  – толщина материала основания;

$n$  – количество слоев ПП;

$h_{\text{ф}}$  – толщина фольги.

Для МПП:

$$H = \sum_{i=1}^n H_{Ci} + (0,6 + 0,9) \sum_{j=1}^{n-1} H_{npj} + 2h_{\text{п}}, \quad (2.38)$$

где  $H_{Ci}$ ,  $H_{npj}$  – номинальная толщина материала слоя и прокладки, причем последняя должна быть не менее двух толщин печатных проводников;

$h_{\text{п}}$  – толщина нанесенных на плату покрытий.

### 2.5.6 Выбор материалов ПП

Физико-механические свойства материалов должны удовлетворять установленным ТУ требованиям и обеспечивать качественное изготовление ПП в соответствии с типовыми ТП. Для изготовления плат применяют слоистые пластики, в том числе фольгированные диэлектрики, плакированные электролитической медной фольгой толщиной 5, 20, 35, 50, 70 и 105 мкм с чистотой меди не менее 99,5 %; шероховатостью поверхности не менее 0,4–0,5 мкм, которые поставляются в виде листов размерами 500 × 700 мм и толщиной 0,06–3 мм.

В качестве основы в слоистых пластиках используют стеклотекстолиты – спрессованные слои стеклоткани, пропитанные эпоксифенольной смолой и другие материалы (таблица 2.7). Они отличаются широким диапазоном рабочих температур, низким (0,2–0,8 %) водопоглощением, высокими значениями объемного и поверхностного сопротивлений, стойкостью к короблению. Смолы определяют практически все электрические и механические характеристики материала (предел прочности, влагопоглощение, сопротивление изоляции, электрическая прочность, диэлектрическая проницаемость, потери и т. п.). Выбор материала ПП также зависит от технологии изготовления ПП.

Таблица 2.7 – Основные материалы для изготовления плат

Материал	Марка	Толщина		Область применения
		фольги, мкм	материала, мм	
<b>Стеклотекстолит:</b>				
травящийся	ФТС-1(2)	18;35	0,08–0,5	МПП, ДПП
с адгезионным слоем	СТЭК	–	1,0–1,5	ДПП
<b>Фольгированный диэлектрик (ламинаты и препреги):</b>				
ламинат	GFN PND 39	18;35	0,8–3	ДПП
ламинат	СЕМ-1, СЕМ-3	18;35	0,8–3	ДПП
ламинат	FR-1, FR-2	18;35	0,8–3	ДПП
ламинат	FR-4 LamPlex	18;35	0,8–3	ДПП
ламинат	FR-5	18;35	0,8–3	ДПП
тонкий диэлектрик	ФДТ-1	50	0,5	МПП
для МПП	ФДМ-1(2)	35	0,2–0,35	МПП
<b>Стеклоткань прокладочная</b>	СП-1-0,0025	–	0,0025	МПП
	СП-2-0,1	–	0,1	МПП

Характеристики некоторых диэлектриков приведены ниже.

Общие характеристики ламинатов FR4:

- класс огнестойкости – 94V-0;
- весь материал поставляется с ультрафиолетовой блокировкой;
- возможная толщина фольги – 18...105 мкм;
- стандартный размер листа – 1041 × 1245 мм. По заказу могут поставляться листы других размеров.

СЕМ-1 – ламинат на основе композиции целлюлозной бумаги и стеклоткани с эпоксидной смолой. Применяется при производстве плат, в которых не требуются высокие свойства стеклотекстолита FR4.

KB 2150 GC (FR-2) – фольгированный гетинакс (основа из целлюлозной бумаги, пропитанной фенольной смолой), широко применяется при изготовлении печатных плат для бытовой электроники, аудио-, видеотехники, в автомобилестроении. Обладая всеми свойствами FR4, данный материал обладает повышенными показателями жаро- и влагуостойчивости. Не содержит галогенов и сурьмы.

Для защиты контактных площадок и концевых ламелей ПП от внешних воздействий в настоящее время используют различные конструктивные покрытия (таблица 2.8).

В технических требованиях к плате печатной указываются обозначения только конструктивных покрытий, например Хим.М.М24 О-С(61) 10-15 опл, ПОС 63 12-18 опл (HAL). При использовании в качестве покрытия драгметаллов необходимо указывать массу покрытия.

Таблица 2.8 – Толщина различных финишных покрытий

Тип покрытия	Толщина (мкм)
ПОС-61 оплавлением (маска по ПОС)	10...15 (допускаются наплывы)
ПОС-63 методом HAL (hot air leveling – выравнивание горячим воздухом) (маска по меди)	12...18 (не допускаются наплывы)
Hard Gold	2,5...5 – Ni / 0,025-0,4 – Au
Immersion Gold	2,5...5 – Ni / 0,076-0,25 – Au
Gold Fingers	2,5...5 – Ni / 0,127-0,76 – Au
Ni	2,54...7,6

Сверху на ПП для защиты проводников от замыканий при пайке и т. п. наносят слой диэлектрической защиты (лак, эмаль, пленочные резисты и т. п.) (таблица 2.9).

### 2.5.7 Расчет элементов печатного рисунка

Расчет печатного монтажа состоит из трех этапов: расчет по постоянному и переменному току и конструктивно-технологический расчет. Ниже приводится рекомендуемый порядок расчета.

1 Исходя из технологических возможностей производства выбираем метод изготовления и класс точности ПП.

Таблица 2.9 – Защитные паяльные маски

Тип покрытия, производитель	Характеристики, область применения
TAMURA FINEDEL DSR-2200TT 19G (Япония)	Жидкая двухкомпонентная фоточувствительная защитная паяльная маска зеленого цвета. Устойчива к растворителям и очистителям
FSR 8000-8G UNION SOLTEK GROUP (Тайвань)	Маска обладает высокими адгезионными свойствами, низким запахом, технологична, устойчива к процессам электролитической металлизации (никелирование, золочение), горячего лужения (HAL). Покрытие глянцевое
FSR 8000-11G UNION SOLTEK GROUP (Тайвань)	Маски данной серии образуют матовое покрытие с ярко выраженными антибликовыми свойствами. Маска устойчива к процессам электролитической металлизации (никелирование, золочение), горячего лужения (HAL)
FSR 8000-10W UNION SOLTEK GROUP (Тайвань)	Маска белого цвета. Пригодна в качестве защитного паяльного резиста и для нанесения маркировки при производстве единичных и мелкосерийных партий печатных плат. Устойчива к процессам никелирования, золочения, горячего лужения (HAL)
Полиуретановый лак URETHAN clear (аналог лака УР-231)	Специально разработан для печатных плат, электронных компонентов и электротехники. Используется как прочное защитное покрытие. Лак однокомпонентный, полностью готов к употреблению

2 Определяем минимальную ширину печатного проводника по постоянному току для цепей питания и заземления, мм:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (2.39)$$

где  $I_{\max}$  – максимальный постоянный ток через проводник, А (определяется из анализа электрической схемы);

$j_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока (выбирается в зависимости от метода изготовления ПП) (таблица 2.10);

$t$  – толщина проводника, мм.

Таблица 2.10 – Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

Метод изготовления	Толщина фольги, $t$ , мм	Допустимая плотность тока, $j_{\text{доп}}$ , А/мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление, $\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м
Химический:			
Внутренние слои МПП	20, 35, 50	15	0,050
Наружные слои МПП, ОПП, ДПП	20, 35, 50	20	
Комбинированный позитивный	18	75	0,0175
	35	48	
	50	38	
Электрохимический	-	25	0,050

3 Определяем минимальную ширину проводника, мм, исходя из допустимого падения напряжения на нем:

$$b_{2\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l}{U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (2.40)$$

где  $\rho$  – удельное объемное сопротивление материала (см. таблицу 2.10);

$l$  – максимальная длина проводника, м;

$U_{\text{доп}}$  – допустимое падение напряжения, В (определяется из анализа электрической схемы).

Допустимое падение напряжения на проводниках не должно превышать 5 % от питающего напряжения для микросхем, а также не должно превышать запас помехоустойчивости микросхем.

4 Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий  $d$ :

$$d = d_{\text{э}} + |\Delta d_{\text{н.о}}| + r, \quad (2.41)$$

где  $d_{\text{э}}$  – максимальный диаметр вывода устанавливаемого ИЭТ, мм;

$\Delta d_{\text{н.о}}$  – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия (определяется классом точности ПП и диаметром отверстия) (таблица 2.11), мм;

$r$  – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода ИЭТ (ее выбирают в пределах 0,1...0,4 мм).

Расчитанные значения  $d$  сводят к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм и т. д.

5 Рассчитываем диаметр контактных площадок. Минимальный диаметр контактных площадок для ОПП и внутренних слоев МПП, изготовленных химическим методом, составит:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (2.42)$$

где  $h_{\text{ф}}$  – толщина фольги;

$D_{1\min}$  – минимальный эффективный диаметр площадки:

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left( b_{\text{М}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta d + \delta p \right), \quad (2.43)$$

где  $b_{\text{М}}$  – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки;

$\delta d$  и  $\delta p$  – допуски на расположение отверстий и контактных площадок (см. таблицу 2.11);

$d_{\max}$  – максимальный диаметр просверленного отверстия, мм:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (2.44)$$

где  $\Delta d$  – допуск на отверстие (см. таблицу 2.11).

Минимальный диаметр контактных площадок для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых комбинированным позитивным методом, составит:

– при фотохимическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03; \quad (2.45)$$



– при сеткографическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\Phi} + 0,08. \quad (2.46)$$

Таблица 2.11 – Допуски на расположение отверстий и контактных площадок

Параметры	Класс точности ПП			
	2	3	4	5
Допуск на отверстие $\Delta d$ , мм, без металлизации: $D < 1$ мм	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
$D > 1$ мм	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
Допуск на отверстие $\Delta d$ , мм, с металлизацией и оплавлением: $D < 1$ мм	+0,05 –0,18	+0,00 –0,13	+0,00 –0,13	+0,00 –0,13
$D > 1$ мм	+0,10 –0,23	+0,05 –0,18	+0,05 –0,18	+0,05 –0,18
Допуск на ширину проводника $\Delta b$ , мм: без покрытия	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	+ 0 –0,03
то же, с покрытием	+0,15 –0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
Допуск на расположение отверстий $\delta d$ , мм, при размере платы: менее 180 мм	0,15	0,08	0,05	0,05
от 180 до 360 мм	0,20	0,10	0,08	0,08
более 360 мм	0,25	0,15	0,10	0,10
Допуск на расположение контактных площадок $\delta p$ , мм, на ОПП и ДПП при размере платы: менее 180 мм	0,25	0,15	0,10	0,05
от 180 до 360 мм	0,30	0,20	0,15	0,08
более 360 мм	0,35	0,25	0,20	0,15
Допуск на подтравливание диэлектрика МПП $\Delta d_{\text{тр}}$ , мм	0,03	0,03	0,03	0,03
Допуск на расположение контактных площадок $\delta p$ , мм, на МПП (внутренний слой) при размере платы: менее 180 мм	0,30	0,20	0,15	0,10
от 180 до 360 мм	0,35	0,25	0,15	0,10
более 360 мм	0,40	0,30	0,25	0,20
Допуск на расположение проводников $\delta l$ , мм: на ОПП и ДПП	0,10	0,05	0,03	0,02
на МПП (внутренний слой)	0,15	0,10	0,08	0,05
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки, $b_m$ , мм	0,045	0,035	0,025	0,015

Тот же диаметр, но для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом, составит:

– при фотохимическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,03; \quad (2.47)$$

– при сеткографическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,08. \quad (2.48)$$

Максимальный диаметр контактной площадки будет равен

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (2.49)$$

Расчет диаметров отверстий и контактных площадок проводится для каждого типоразмера ИЭТ.

6 Определяем ширину проводников. Минимальная ширина проводников для ОПП и внутренних слоев МПП, изготавливаемых химическим методом:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi}, \quad (2.50)$$

где  $b_{1\min}$  – минимальная эффективная ширина проводника ( $b_{1\min} = 0,15$  мм для плат 1-го и 2-го классов точности;  $b_{1\min} = 0,10$  мм для плат 3-го и 4-го классов точности).

Минимальная ширина проводников для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых комбинированным позитивным методом, составит:

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,03; \quad (2.51)$$

– при сеткографическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,08. \quad (2.52)$$

Та же ширина, но для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом, составит:

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,03; \quad (2.53)$$

при сеткографическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,08. \quad (2.54)$$

Максимальная ширина проводников для ДПП и наружных слоев МПП составит:

$$b_{\min} = b_{1\min} + (0,02...0,06). \quad (2.55)$$

7 Определяем минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка.

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$S_{1\min} = L_0 - \left[ (D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l) \right], \quad (2.56)$$

где  $L_0$  – расстояние между центрами рассматриваемых элементов;

$\delta l$  – допуск на расположение проводников (см. таблицу 2.11).

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

$$S_{1\min} = L_0 - \left[ (D_{\max} + \delta p) \right]. \quad (2.57)$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$S_{1\min} = L_0 - \left[ (D_{\max} + \delta l) \right]. \quad (2.58)$$

8 Величина паразитной емкости между двумя проводниками, пФ:

$$C_{\text{пар}} = \frac{0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_n}{\ln \frac{2 \cdot S}{h + t_n}}, \quad (2.59)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала основания печатной платы;

$l_n$  – длина взаимного перекрытия проводников, мм;

$S$  – ширина зазора между краями печатных проводников, мм;

$h$  – ширина печатного проводника, мм.

9 Индуктивность печатных проводников рассчитываем по формуле, мкГн:

$$L = 2 \cdot l_n \cdot \left( 2,3 \cdot \frac{l_n}{h + t_n} + 0,2235 \cdot \frac{h + t_n}{l_n} + 0,5 \right) \cdot 10^{-2}. \quad (2.60)$$

10 Вычисляем сопротивление изоляции печатных цепей, расположенных на поверхности платы:

$$R_s = p_s \cdot \frac{S}{l}, \quad (2.61)$$

где  $R_s$  – сопротивление изоляции разобращенных печатных цепей, Ом;

$p_s$  – удельное поверхностное сопротивление изоляционного основания, Ом/□;

$S$  – изоляционный зазор разобращенных цепей, мм;

$l$  – длина изоляционного зазора, м.

Основными параметрами, обуславливающими стабильность работы печатных плат, являются тангенс угла потерь  $\text{tg } \delta$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , которые больше всего подвержены изменению в процессе старения органического основания платы. Изменение диэлектрических свойств печатной платы (от воздействия температуры и влаги) приводит к существенным потерям, которые могут достигать 70 % от расчетной мощности схемы. Поэтому необходимо произвести расчет мощности потерь печатной платы  $P_{\Pi}$ , Вт:

$$P_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot \text{tg } \delta, \quad (2.62)$$

где  $f$  – частота питающего напряжения схемы, МГц;

$C$  – емкость печатной платы, мкФ;

$U$  – напряжение питания, В;

$\text{tg } \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь материала основания платы.

Емкость печатной платы вычисляют по формуле, пФ:

$$C = \frac{0,009 \cdot \epsilon \cdot F}{H}, \quad (2.63)$$

где  $F$  – суммарная площадь печатных проводников, мм<sup>2</sup>;

$H$  – толщина платы, мм.

После проведения расчетов делают вывод о том, отвечают ли параметры печатного монтажа требованиям, предъявляемым к платам заданного класса точности.

### 2.5.8 Выбор и размещение элементов печатного рисунка

Размещение отверстий и других элементов печатного рисунка производят относительно базы координат координатной сетки в соответствии с принятым при разработке печатного узла расположением навесных элементов и их выводов. Основной шаг линий, используемый в координатной сетке, равен 2,5 мм; допускают-

ся вспомогательные шаги –1,25; 0,625 и 0,5 мм (зависят от используемой элементной базы).

Центры отверстий и контактных площадок располагают в узлах сетки. Центры монтажных отверстий под неформуемые выводы многовыводных ИЭТ, межцентровые расстояния которых не кратны шагу координатной сетки, следует располагать таким образом, чтобы в узле координатной сетки находился центр по крайней мере одного из монтажных отверстий.

Количество типоразмеров любых отверстий на печатной плате из соображений технологичности и стоимости ПП обычно ограничивают тремя-четырьмя.

Контактные площадки выполняют прямоугольной, круглой или близкой к ним формы (круглые предпочтительнее).

Печатные проводники следует выполнять постоянной, возможно большей ширины и располагать равномерно, на возможно большем расстоянии от соседних элементов. Проводники обычно располагают параллельно линиям координатной сетки или под углом  $45^\circ$  к ним. На соседних проводящих слоях платы проводники располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях для уменьшения перекрестных помех. Печатные проводники шириной более 3 мм выполняют с вырезами, по правилам выполнения экранов.

Концевые печатные контакты (ламели) разъемного соединителя прямого сочленения располагают на краю ПП. На торце печатной платы со стороны печатных контактов снимают фаску  $0,3 \times 45^\circ$ . Все печатные контакты на плате должны иметь износостойчивое покрытие.

### **2.5.9 Трассировка печатных проводников**

При создании печатных плат для электронных модулей ЭА обычно используется координатный способ разводки печатных проводников, предусматривающий ортогональные направления проводников на разных сторонах (смежных слоях) платы.

Для выполнения диагональных соединений и предотвращений нежелательного пересечения проводника с ранее проведенными проводниками в конструкцию ПП вводятся специальные переходные отверстия, переводящие проводники на противоположную сторону ПП, на которой трасса продолжается (может быть использовано и монтажное отверстие).

Ортогональное направление трасс позволяет свести к минимуму взаимное влияние проводников, расположенных на разных слоях, и упрощает процесс их разводки. Возможно также изменение направления трассы под углом  $45^\circ$  или  $90^\circ$  к первоначальному направлению, а также первоначальные сдвиги относительно выбранного направления. Желательно, однако, чтобы трассы не имели форму лесенки, а по возможности приближались к прямой.

В настоящее время для трассировки ПП используют САПР с различными пакетами прикладных программ (P-CAD, OrCAD и т. п.).

## 2.5.10 Маркировка и контроль

Маркировка печатных плат состоит из *основной* (наносимой обязательно) и *дополнительной*.

Маркировка выполняется краской, устойчивой к воздействию нейтральных растворителей, или способом, которым выполняется проводящий рисунок.

**Основная** маркировка должна содержать:

- обозначение печатной платы или ее условный шифр;
- дату изготовления;
- буквенно-цифровое обозначение слоя МПП.

**Дополнительной** маркировкой по необходимости могут быть нанесены на ПП: позиционное обозначение навесных ИЭТ; изображение контуров навесных ИЭТ; цифровое обозначение первого вывода ИЭТ, контрольных точек; обозначение положительного вывода полярного ИЭТ (знак +) и др.

Месторасположение маркировки и данные по ней должны быть указаны на чертеже ПП в соответствии с ГОСТ 2.314-68.

В учебных чертежах необходимо указывать сведения как об основной, так и о дополнительной маркировке.

## 2.5.11 Оформление КД

Оформление КД на печатные платы должно производиться в соответствии с ГОСТ 2.109-73 и ГОСТ 2.417-91. Чертеж ОПП или ДПП должен содержать основные проекции платы с печатными проводниками и другими элементами (отверстиями, контактными площадками и т. п.).

**Сборочный чертеж МПП** должен содержать данные по сборке и контролю МПП, причем чертежи слоев МПП рекомендуется изображать на отдельных листах. На чертеже слоя проставляют габаритные размеры. Допускается на слои МПП чертежи не выпускать, при этом в зависимости от характера производства слои МПП могут учитываться как детали или как материал.

## 2.6 Расчет блока РЭС на механические воздействия

Целью расчета является определение действующих на элементы изделия перегрузок при наличии вибрации, а также максимальных перемещений. При необходимости производится выбор и расчет системы амортизации.

*Исходные данные:*  $a$  – длина,  $b$  – ширина,  $h$  – толщина печатной платы,  $M$  – масса печатной платы с ЭРЭ.

1 Определяем частоту собственных колебаний печатной платы.

Частоту собственных колебаний печатной платы определяем как частоту собственных колебаний равномерно нагруженной пластины по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{K_6}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} ab, \quad (2.64)$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина пластины;

$D$  – цилиндрическая жесткость;

$M$  – масса пластины с элементами.

$K_\alpha$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон пластины.

Цилиндрическая жесткость пластины  $D$  определяется по формуле

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\gamma^2)}, \quad (2.65)$$

где  $E$  – модуль упругости (таблица 2.12);

$h$  – толщина пластины;

$\gamma$  – коэффициент Пуассона.

Таблица 2.12 – Характеристики материалов, применяемых в РЭС

Материал	$E \times 10^{10}$ Н/м <sup>2</sup>	$\nu$	$\rho \times 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$A \times 10^2$
СТЭФ (1,33 мм)	3,2	0,279	2,47	2...10
МТЭ (1,22 мм)	3,5	0,214	1,98	2...10
НФД (0,92 мм)	3,45	0,238	2,32	2...10
ПП из СФ	3,02	0,22	2,05	2...10
Сталь	22	0,3	7,8	-
Алюминий	7,3	0,3	2,7	-

Коэффициент  $K_\alpha$ , зависящий от способа закрепления сторон пластины, определяется по общей формуле

$$K_\alpha = k \left( \alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4} \right)^{1/2}. \quad (2.66)$$

Коэффициенты  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  приведены в таблице 2.13 и на рисунке 2.6.

Если прогиб и угол поворота на краю пластины равны нулю, то этот край считают жестко заземленным. Если прогиб и изгибающий моменты равны нулю, то этот край – опертый, а если изгибающий момент и перерезывающая сила равны нулю, то этот край – свободный.

2 Определяем виброускорение и виброперемещение элементов РЭС.

Амплитуда виброперемещения основания, на котором закреплена печатная плата:

$$\xi_0(f) = a_0(f)/(4\pi^2 f^2), \quad (2.67)$$

где  $a_0(f)$  – виброускорение,

$f$  – частота возбуждения.

Амплитуда виброперемещения элементов РЭС:

$$S_B(x, y, f) = \xi_0(f) \gamma(x, y, f). \quad (2.68)$$

Коэффициент передачи по ускорению  $\gamma(x, y, f)$  будет являться функцией координат и может быть определен по формуле

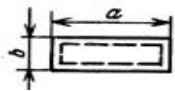
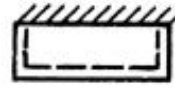
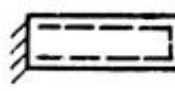
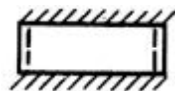
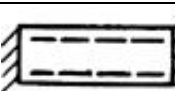
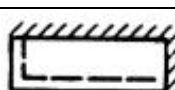
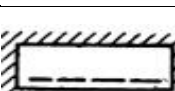
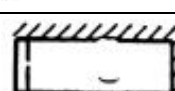
$$\gamma(x, y) = |\gamma(x, y)| = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(\xi_1) - 1]\eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}, \quad (2.69)$$

где  $\eta$  – коэффициент расстройки,

$\varepsilon$  – показатель затухания,

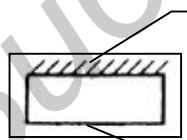
$K_I(\xi_I)$  – коэффициент, зависящий от условий закрепления краев пластины (приведен на рисунке 2.7).

Таблица 2.13 – Некоторые эскизы закрепления и величины коэффициентов  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$

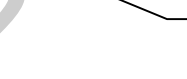
Эскиз закрепления	Коэффициенты			
	$k$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
	9,87	1	2	1
	9,87	1	2,33	2,44
	15,42	1	0,95	0,41
	9,87	1	2,57	5,14
	22,37	1	0,48	0,19
	15,42	1	1,11	1
	22,37	1	0,57	0,47
	15,42	1	1,19	2,1



Пластина закреплена в четырех точках (например с помощью винтовых соединений). Края являются опертыми



Край защемлен



Свободный край

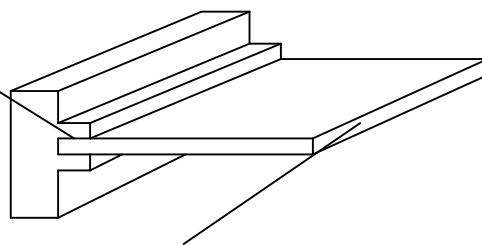


Рисунок 2.6 – Пояснения к таблице 2.13

Коэффициент расстройки  $\eta$  определяется по формуле

$$\eta = f/f_0, \quad (2.70)$$

где  $f$  – частота возбуждения;

$f_0$  – частота собственных колебаний системы.

Показатель затухания  $\varepsilon$  определяется по формуле

$$\varepsilon = A/\pi, \quad (2.71)$$

где  $A$  – декремент затухания (см. таблицу 2.12).

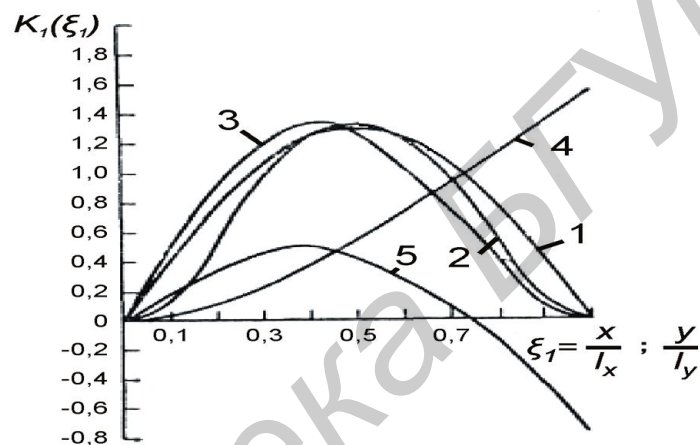
Амплитуда виброускорения элементов РЭС:

$$a_B(x, y, f) = a_0(f)\Gamma(x, y, f). \quad (2.72)$$

3 Определяем максимальный прогиб пластины относительно ее краев.

Для кинематического возбуждения максимальный прогиб пластины равен

$$\delta_B = |S_B(x, y, f) - \xi_0(f)|_{\max}. \quad (2.73)$$



1 – оба края оперты; 2 – оба края защемлены; 3 – левый край оперт, правый защемлен;  
4 – левый край защемлен, правый – свободный; 5 – левый край оперт, правый – свободный

Рисунок 2.7 – Зависимость коэффициента формы колебаний от относительной координаты

4 Проверяем выполнение условия вибропрочности.

Оценка вибропрочности производится по следующим критериям: частота собственных колебаний ПП должна быть минимум в 3 раза больше максимальной частоты возбуждения, определяемой по условиям эксплуатации; для ИМС, транзисторов, резисторов и других ИЭТ амплитуда виброускорения должна быть меньше допустимых ускорений  $A_{\text{доп}}$ , т. е.  $a_{B \text{ max}} < A_{\text{доп}}$ , где значения  $A_{\text{доп}}$  определяются в процессе анализа элементной базы; для ПП с радиоэлементами должно выполняться условие  $\delta_B < 0,003 b$ , где  $b$  – размер стороны ПП, параллельно которой установлены элементы.

Если условия вибропрочности не выполняются, необходимо изменить конструкцию РЭС, увеличив жесткость несущих элементов. Радикальным решением для обеспечения вибропрочности является применение амортизации.



### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*Сборка* представляет собой совокупность технологических операций механического соединения деталей, ЭРЭ и ИМС в изделии или его части, выполняемых в определенной последовательности для обеспечения заданного их расположения и взаимодействия. Выбор последовательности операций сборочного процесса зависит от конструкции изделия и организации процесса сборки.

*Монтаж* представляет собой совокупность технологических операций электрического соединения ЭРЭ изделия в соответствии с принципиальной электрической или электромонтажной схемой. Монтаж выполняется с помощью печатных, проводных или тканых плат, одиночных проводников, жгутов и кабелей. Основу сборочно-монтажных работ составляют процессы формирования механических и электрических соединений.

Простейшим сборочно-монтажным элементом является *деталь*, которая, согласно ГОСТ 2.101-68, характеризуется отсутствием разъемных и неразъемных соединений.

*Сборочная единица* является более сложным сборочно-монтажным элементом, состоящим из двух или более деталей, соединенных разъемным либо неразъемным соединением. Характерным признаком сборочной единицы является возможность ее сборки отдельно от других сборочных единиц.

Ввиду того, что проектирование технологического процесса (ТП) сборки и монтажа всего изделия представляет собой достаточно громоздкую задачу, в курсовом проекте достаточно разработать ТП сборки и монтажа одного электронного модуля, входящего в состав изделия.

Проектирование ТП сборки и монтажа рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- 1) провести анализ технологичности конструкции модуля;
- 2) разработать технологическую схему сборки модуля;
- 3) составить два варианта маршрута сборки, выбрать технологическое оборудование и оснастку, провести нормирование вариантов ТП и выбор оптимального варианта по трудоемкости;
- 4) определить содержание двух-трех операций и оформить комплект технологических документов (ТД) на ТП сборки и монтажа электронного модуля.

#### 3.1 Оценка технологичности конструкций электронных модулей

*Технологичность* — это совокупность свойств конструкции, которые проявляются в оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия. Для оценки технологичности электронных блоков применяют систему базовых коэффициентов, рекомендуемых отраслевыми стандартами. Перечень базовых коэффициентов технологичности для электронных модулей с поверхностным монтажом в ранжированной последовательности приведен в таблице 3.1. Каждый из коэффициентов

технологичности имеет свою весовую характеристику  $\varphi_i$ , определяемую в зависимости от его порядкового номера в группе.

Таблица 3.1 – Коэффициенты технологичности электронных модулей

Значение $i$	Коэффициенты технологичности	Обозначение	$\varphi_i$
1	Коэффициент автоматизации пайки ЭРЭ	$K_{АП}$	1,0
2	Коэффициент автоматизации установки ЭРЭ	$K_{АУ}$	1,0
3	Коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа	$K_{ТСБ}$	0,8
4	Коэффициент автоматизации операций контроля и настройки	$K_{АКН}$	0,5
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{ПОВ ЭРЭ}$	0,3
6	Коэффициент применения типовых ТП	$K_{ТП}$	0,2
7	Коэффициент сокращения применения деталей	$K_{СПД}$	0,1

Рекомендуется следующий порядок оценки технологичности электронного модуля.

1 Рассчитывается коэффициент автоматизации пайки ЭРЭ:

$$K_{АП} = N_{АП} / N_{ЭРЭ}, \quad (3.1)$$

где  $N_{ЭРЭ}$  – количество ЭРЭ в модуле;

$N_{АП}$  – количество ЭРЭ, пайка которых осуществляется на автоматах.

Количество ЭРЭ в модуле  $N_{ЭРЭ}$  подсчитывается по спецификации на сборочный чертеж. Количество ЭРЭ, пайка которых осуществляется на автоматах:

$$N_{АП} = N_{ЭРЭ СКВ} - N_{Н СКВ} + N_{ЭРЭ ПМ} - N_{Н ПМ}, \quad (3.2)$$

где  $N_{ЭРЭ СКВ}$  и  $N_{ЭРЭ ПМ}$  – соответственно количество ЭРЭ обычного и поверхностного монтажа;

$N_{Н СКВ}$  и  $N_{Н ПМ}$  – соответственно количество нестандартно монтируемых ЭРЭ обычного и поверхностного монтажа.

2 Рассчитывается коэффициент автоматизации установки ЭРЭ, подлежащих пайке:

$$K_{АУ} = N_{АУ} / N_{ЭРЭ}, \quad (3.3)$$

где  $N_{АУ}$  – количество ЭРЭ, устанавливаемых на плату автоматизированными способами, которое определяется как

$$N_{АУ} = A_{СКВ} + A_{ПОВ}, \quad (3.4)$$

где  $A_{СКВ}$  и  $A_{ПОВ}$  – соответственно количество ЭРЭ, монтируемых в отверстия платы, и поверхностного монтажа, устанавливаемых на плату автоматизированными способами.

3 Рассчитывается коэффициент снижения трудоемкости сборки и монтажа:

$$K_{ТСБ} = 1 / N_{ВМ}, \quad (3.5)$$

где  $N_{ВМ}$  – число, характеризующее вид монтажа, которое определяется по таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Выбор вида монтажа

Вид монтажа	Поверхностный односторонний	Поверхностный двухсторонний	Смешанно-разнесенный	Смешанный
$N_{BM}$	1,2	1,4	1,8	2,8

4 Рассчитывается коэффициент автоматизации операций контроля и настройки:

$$K_{AKH} = (N_{AT} + 2N_{AF}) / N_{KH}, \quad (3.6)$$

где  $N_{AT}$  – число автоматизированных операций внутрисхемного тестирования модуля;

$N_{AF}$  – число автоматизированных операций предварительного и приемочного функционального контроля модуля;

$N_{KH}$  – число операций контроля и настройки.

Две операции: визуальный и электрический контроль являются обязательными. Если в конструкции имеются регулировочные элементы, то количество операций регулировки увеличивается пропорционально числу этих элементов.

5 Рассчитывается коэффициент повторяемости ЭРЭ:

$$K_{пов. \text{ ЭРЭ}} = 1 - N_{Т. \text{ ЭРЭ}} / N_{\text{ЭРЭ}}, \quad (3.7)$$

где  $N_{Т. \text{ ЭРЭ}}$  – количество типоразмеров ЭРЭ в модуле.

Под типоразмером ЭРЭ понимаются его габаритные размеры и конфигурация (например, две микросхемы разного назначения, но в одинаковых корпусах имеют один и тот же типоразмер). Количество типоразмеров ЭРЭ в модуле  $N_{Т. \text{ ЭРЭ}}$  определяется по спецификации и сборочному чертежу модуля.

6 Рассчитывается коэффициент применения типовых ТП:

$$K_{ТП} = (D_{ТП} + E_{ТП}) / D + E, \quad (3.8)$$

где  $D_{ТП}$ ,  $E_{ТП}$  – число деталей и сборочных единиц, изготавливаемых с применением типовых и групповых ТП;

$D$ ,  $E$  – общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа.

7 Рассчитывается коэффициент сокращения применения деталей:

$$K_{спд} = 1 / D, \quad (3.9)$$

где  $D$  – количество деталей в модуле (без учета нормализованного крепежа).

Количество деталей  $D$  определяется по спецификации и сборочному чертежу модуля.

8 Рассчитывается комплексный показатель технологичности:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^7 K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^7 \varphi_i}. \quad (3.10)$$

9 Рассчитывается базовое значение комплексного показателя:

$$K_B = (K_C N_{СКВ} + 0,8 N_{ПОВ}) / (N_{СКВ} + N_{ПОВ}), \quad (3.11)$$

где  $K_C = 0,55$ , если  $N_{СКВ} < 50000$ , или  $K_C = 0,70$ , если  $N_{СКВ} \geq 50\,000$ .

Для определения базового значения комплексного показателя вычисляется количество ЭРЭ обычного и поверхностного монтажа в партии изготавливаемых модулей:

$$N_{СКВ} = N N_{ЭРЭ\ СКВ}, N_{ПОВ} = N N_{ЭРЭ\ ПМ}, \quad (3.12)$$

где  $N$  – объем партии изготавливаемых модулей.

10 Рассчитывается уровень технологичности:

$$K_{УТ} = K / K_B. \quad (3.13)$$

Если  $K_{УТ} \geq 1$ , то конструкция модуля в достаточной степени отработана на технологичность. Если  $K_{УТ} < 1$ , то конструкция признается нетехнологичной.

Для повышения технологичности конструкций устройств выполняют следующие мероприятия:

- расширяют число ИМС, микросборок, функциональных и поверхностно монтируемых элементов;
- сокращают количества деталей, требующих механической сборки;
- рационально компонуют элементы на плате, что обеспечивает автоматизированную установку и монтаж;
- снижают число подстроечных и регулировочных элементов;
- автоматизируют подготовку элементов к монтажу;
- автоматизируют операции контроля и настройки.

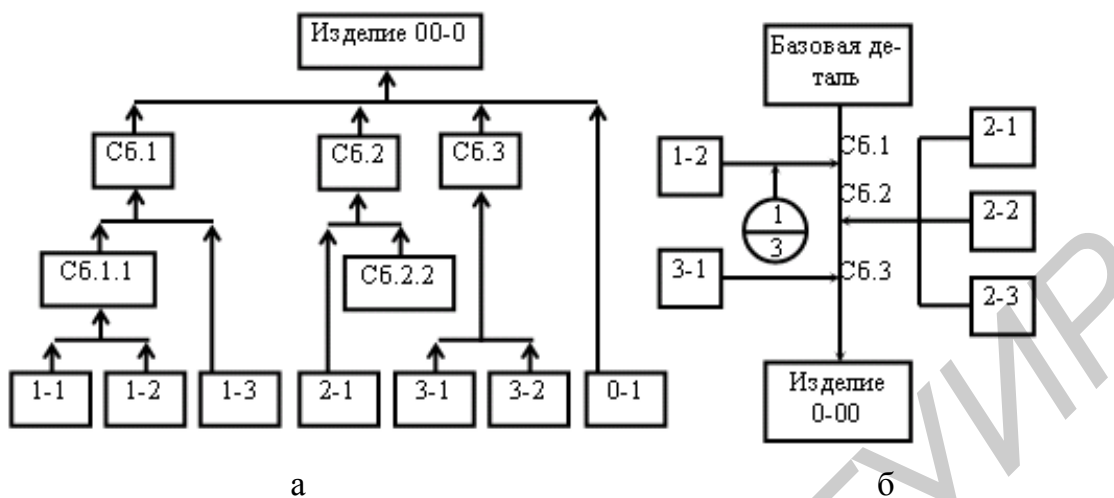
### 3.2 Разработка технологической схемы сборки электронного блока

*Технологическая схема сборки* является одним из основных документов, составляемых при разработке ТП сборки. Она разрабатывается на основе схемы сборочного состава путем включения в нее технологических указаний по выполнению операций. Различают технологические схемы сборки «*веерного*» типа и технологические схемы сборки с *базовой деталью*.

Технологическая схема сборки «*веерного*» типа представлена на рисунке 3.1, а. На ней стрелками показывается направление сборки деталей и сборочных единиц. Достоинством схемы является ее простота и наглядность, но она не отражает последовательности выполнения операций сборки во времени.

*Схема сборки с базовой деталью* (рисунок 3.1, б) устанавливает временную последовательность сборочного процесса. При такой сборке необходимо выделить базовый элемент, т. е. базовую деталь или сборочную единицу, в качестве которой обычно выбирают ту деталь, поверхности которой будут впоследствии использованы при установке в готовое изделие. В большинстве случаев базовой деталью служит плата, панель, шасси и другие элементы несущих конструкций изделия. Направление движения деталей и сборочных единиц на схеме показывается стрелками, а прямая линия, соединяющая базовую деталь и изделие, называется *главной осью сборки*. Точки пересечения осей сборки, в ко-

которые подаются детали или сборочные единицы, обозначаются как элементы сборочных операций, например: Сб.1.1, Сб.1.2 и т. д., а точки пересечения вспомогательной оси с главной – как операции: Сб.1, Сб.2 и т. д.

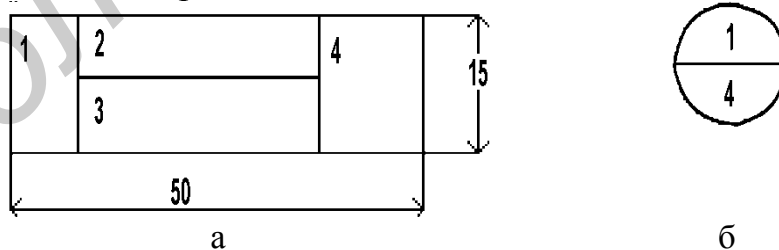


а – «вверного» типа; б – с базовой деталью

Рисунок 3.1 – Технологические схемы сборки

При построении технологической схемы сборки каждую деталь или сборочную единицу изображают в виде прямоугольника (рисунок 3.2, а), в котором указывают позицию детали по спецификации к сборочному чертежу (1), ее наименование (2) и обозначение (3) согласно КД, а также количество деталей (4), подаваемых на одну операцию сборки. Рекомендуемые размеры прямоугольника – 50×15 мм. Допускается изображение нормализованных или стандартных крепежных деталей в виде круга диаметром 15 мм, в котором указывают позицию по спецификации и количество деталей (рисунок 3.2, б).

Технологические указания по выполнению сборочных операций или электрического монтажа помещают в прямоугольник, ограниченный штриховой линией, а место их выполнения указывают наклонной стрелкой, направленной в точку пересечения осей сборки.



а – детали и сборочные единицы; б – крепеж

Рисунок 3.2 – Условные обозначения на технологической схеме сборки

На технологических схемах сборки оговаривают также характер выполнения неразъемных соединений (сварка, пайка, склеивание, запрессовка и т. д.); материал, применяемый при сборке; характер операций монтажа элементов

(волной припоя, электропаяльником и т. д.); характер операций влагозащиты изделия, контроля и маркировки (рисунок 3.3).

Содержание технологической схемы сборки электронного блока определяется его конструкцией. При наличии в конструкции ЭА поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК) выделяют три основных варианта конструктивного исполнения блоков: чисто поверхностный монтаж (тип 1), при котором на одной или двух сторонах печатной платы расположены только ПМК; смешанный монтаж (тип 2), когда на одной или двух сторонах печатной платы размещаются сложные ПМ-компоненты и компоненты со штыревыми выводами и смешанно-разнесенный монтаж (тип 3), при котором компоненты со штыревыми выводами размещаются на лицевой стороне печатной платы, а простые ПМ-компоненты – на обратной стороне.

Технологический процесс сборки модуля типа 1 начинается с нанесения (чаще всего методом трафаретной печати) припойной пасты на контактные площадки (рисунок 3.4). Компоненты устанавливаются на печатную плату и осуществляется их пайка. Некоторые припойные пасты подсушивают перед пайкой для удаления летучих соединений и стабилизации свойств. Для плат с двухсторонней установкой компонентов приведенные выше операции повторяются. Компоненты, находящиеся на лицевой стороне печатной платы, повторно подвергаются нагреву. Однако вследствие действия сил поверхностного натяжения в припойной пасте, они остаются на своих местах.

Технологический процесс сборки модуля типа 2 является комбинацией технологических процессов сборки типов 1 и 3 и использует все операции, характерные для этих типов (рисунок 3.5). Это наиболее сложный вариант для практической реализации, потому что он содержит максимальное число операций.

Первой операцией технологического процесса сборки модуля типа 3 будет автоматизированная установка компонентов со штыревыми выводами с их подгибкой (рисунок 3.6). Она выполняется на серийном оборудовании. Далее плата переворачивается и на места установки ПМ-компонентов наносится адгезив. С помощью автоматических укладчиков устанавливаются ПМ-компоненты и осуществляется подсушивание адгезива в конвекционных или инфракрасных печах. После отверждения адгезива плата переворачивается обратно и производится пайка выводов традиционных и ПМ-компонентов волновой пайкой. Дискретные ПМ-компоненты за счет приклеивания во время пайки остаются на своих местах. Последние операции всех технологических процессов – очистка и контроль. Некоторые фирмы осуществляют пайку волной припоя и ПМ-корпуса ИМС (SO). Однако это не рекомендуется ввиду высоких тепловых нагрузок на корпус, снижения коррозионной стойкости и надежности ИМС.

Для определения количества устанавливаемых ЭРЭ на плату в ходе выполнения сборочных операций необходим расчет ритма сборки:

$$r = \frac{\Phi_{\text{д}}}{N} \text{ (мин/шт.)}, \quad (3.14)$$

где  $\Phi_d$  – действительный фонд времени за плановый период;  
 $N$  – годовая программа выпуска.

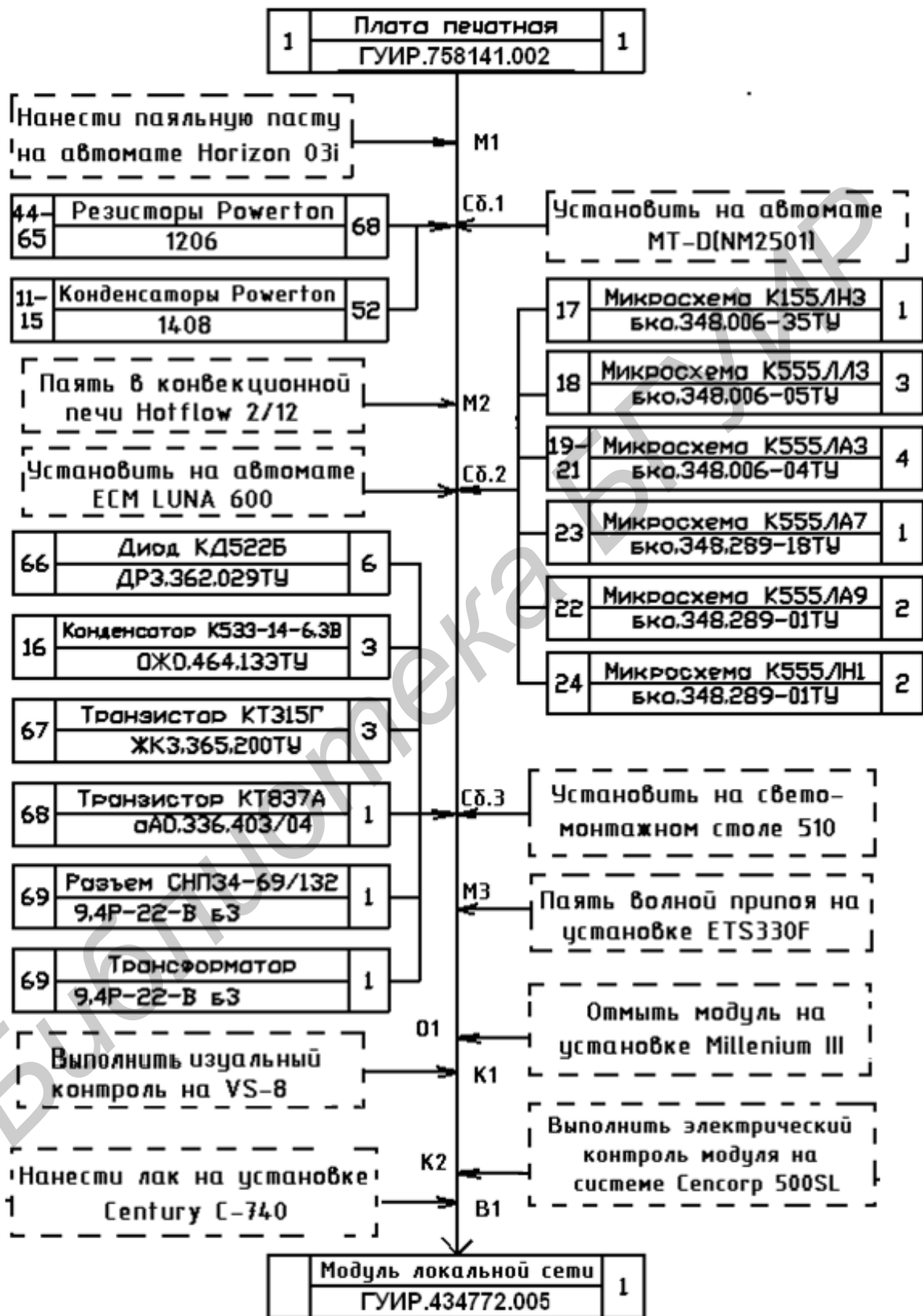


Рисунок 3.3 – Технологическая схема сборки электронного модуля

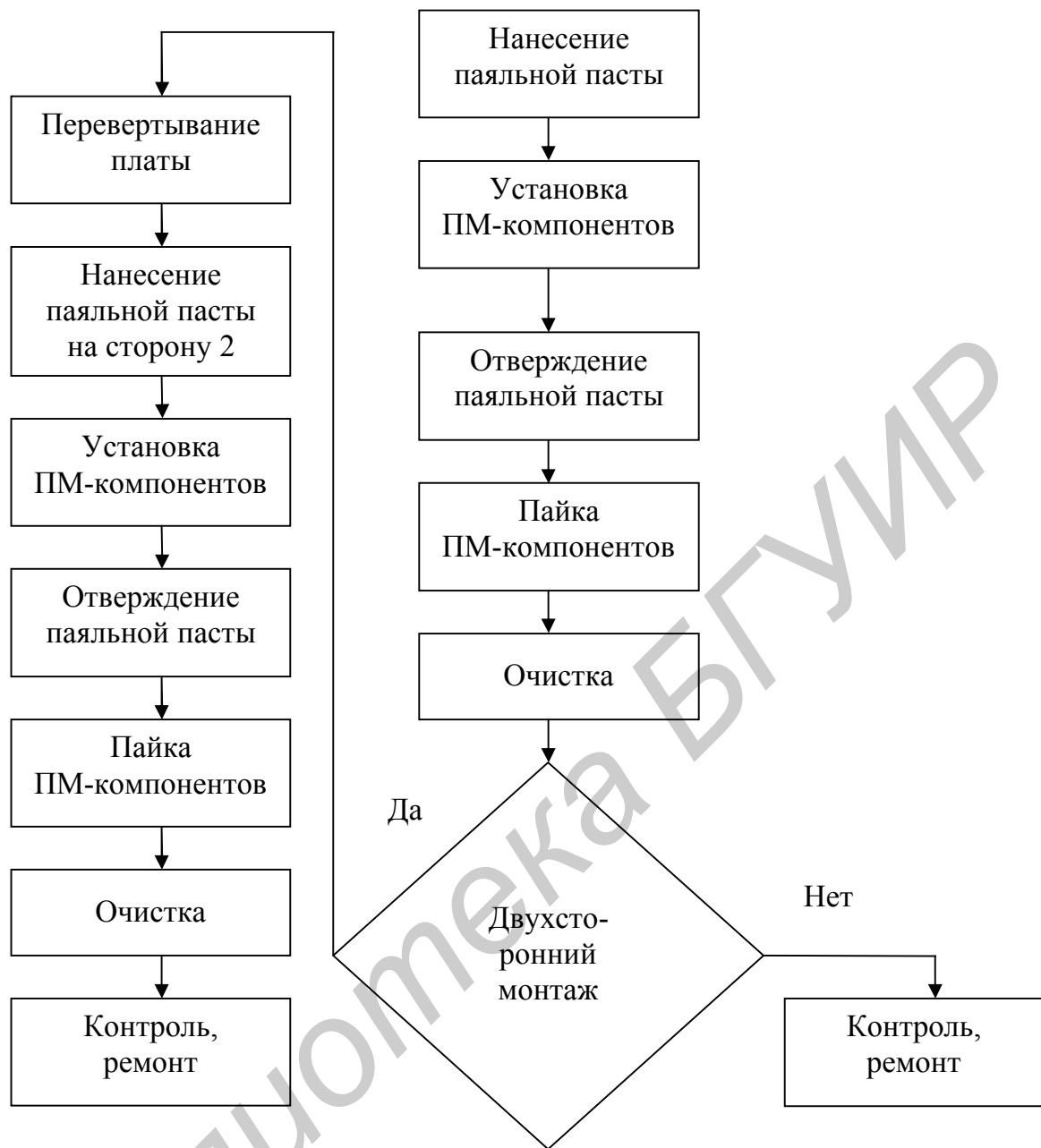


Рисунок 3.4 – Типовая схема технологического процесса сборки модуля типа 1

Действительный фонд времени за плановый период определяется как

$$\Phi_d = C \cdot D \cdot k_p \cdot 41 \cdot 60 / 5 \text{ (мин)}, \quad (3.15)$$

где  $C$  – количество рабочих смен;

$D$  – количество рабочих дней за плановый период;

$k_p$  – коэффициент регламентированных перерывов ( $k_p = 0,95$ ).



Трудоемкость  $i$ -й операции сборки определяется исходя из производительности оборудования, применяемого для выполнения операции, и количества собираемых электрорадиоэлементов:

$$T_i = n \cdot 60 / \Pi \text{ (мин) ,} \quad (3.16)$$

где  $\Pi$  – производительность единицы оборудования, шт/час;  
 $n$  – количество собираемых электрорадиоэлементов.

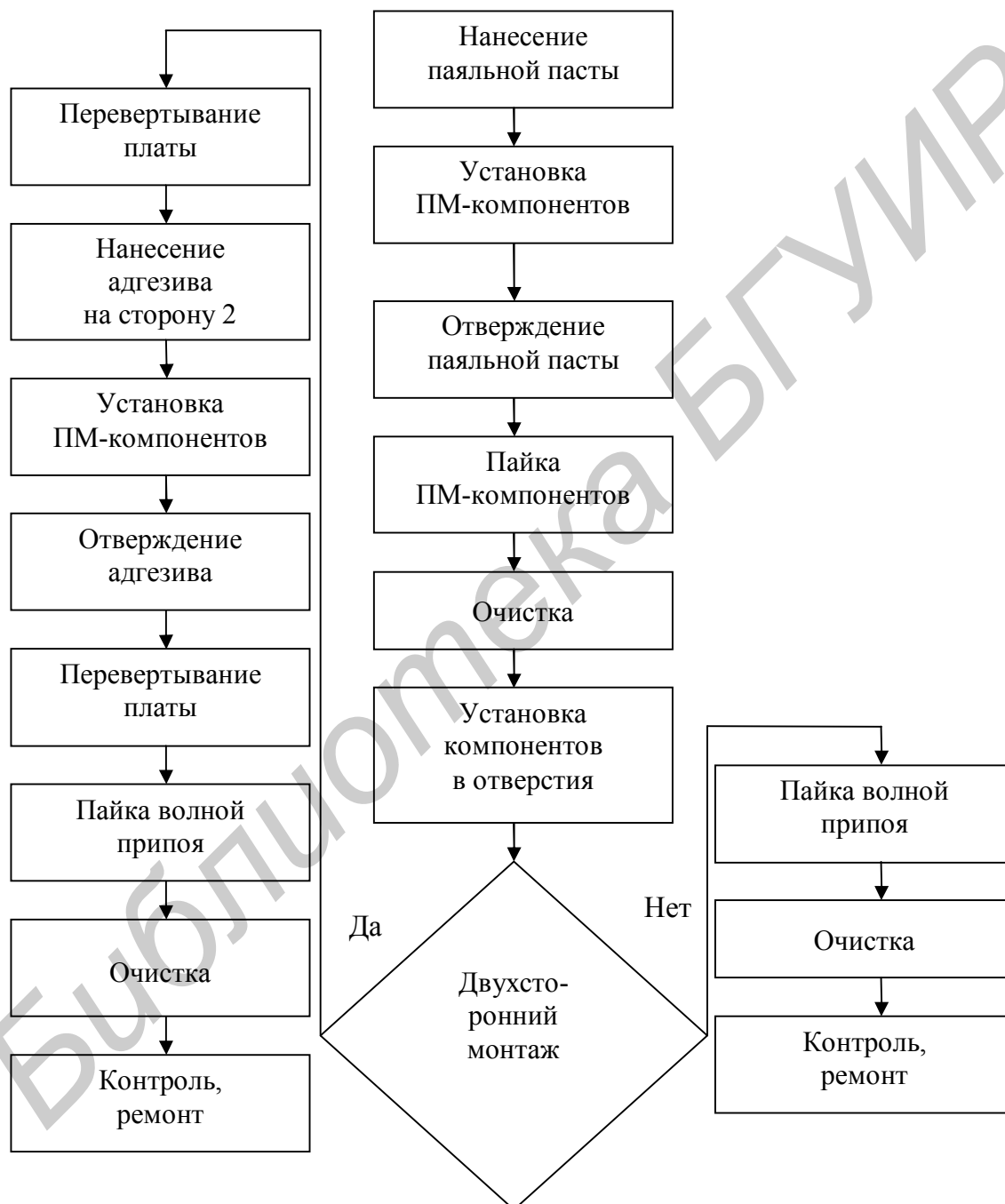


Рисунок 3.5 – Типовая схема технологического процесса сборки модуля типа 2

Количество ЭРЭ, устанавливаемых на  $i$ -й операции, должно учитывать соотношение

$$0,9 < T_i / r < 1,2 . \quad (3.17)$$

При выполнении данного этапа проектирования ТП сборки и монтажа электронного модуля рекомендуется следовать следующей методике.

- 1 Определить действительный фонд времени за плановый период.
- 2 Рассчитать ритм сборки.
- 3 Определить тип модуля и составить последовательность операций сборки и монтажа на основе соответствующей типовой схемы.
- 4 Определить трудоемкость операций сборки и монтажа.
- 5 Определить для каждой операции отношение  $T_i/T_6$ .
- 6 Разработать технологическую схему сборки.
- 7 Внести в схему технологические указания.



Рисунок 3.6 – Типовая схема технологического процесса сборки модуля типа 3

### 3.3 Разработка маршрутной технологии сборки электронного модуля и выбор оптимального варианта технологического процесса

При выборе оптимального варианта ТП используют технико-экономические критерии – *экономичность* и *производительность*.

Экономичным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную технологическую себестоимость. Производительным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную трудоемкость изготовления продукции в плановые сроки.

Для выбора оптимального варианта ТП в курсовом проекте рассчитывается трудоемкость изготовления электронного модуля по каждому из сравниваемых вариантов.

При расчете трудоемкости необходимо различать *штучно-калькуляционное* и *штучное время* выполнения операции.

*Штучно-калькуляционное время* выполнения операции равно

$$T_{\text{шт.-к}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{п.з}} / N, \quad (3.18)$$

где  $T_{\text{шт}}$  – штучное время, которое затрачивается на каждое изделие;

$T_{\text{п.з}}$  – подготовительно-заключительное время, которое затрачивается на ознакомление с чертежами, получение инструмента, на подготовку и наладку оборудования на всю программу выпуска;

$N$  – программа выпуска изделий.

*Штучное время* для сборочно-монтажных работ определяется по формуле

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} K_1 \left( \frac{K_2 + K_3}{100} + 1 \right), \quad (3.19)$$

где  $T_{\text{оп}}$  – оперативное время;

$K_1$  – коэффициент, зависящий от сложности аппаратуры и типа производства;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время и время обслуживания в процентах от оперативного;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий отношение времени на перерывы в работе в процентах к оперативному времени и зависящий от сложности выполняемой работы и условий труда.

Оперативное время  $T_{\text{оп}}$  определяют по техническим характеристикам оборудования аналогично трудоемкости по формуле (3.16). Значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  выбирают по таблице 3.3,  $K_3$  – по таблице 3.4.

Ориентировочно подготовительно-заключительное время на всю годовую программу равно

$$T_{\text{п.з}} = T_{\text{п.з.см}} \cdot C \cdot D_p, \quad (3.20)$$

где  $T_{\text{п.з.см}}$  – сменная норма подготовительно-заключительного времени;

$C$  – количество смен;

$D_p$  – количество рабочих дней в плановый период.

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$

Тип производства	$K_1$ , % для аппаратуры			$K_2$ , %
	2-го поколения	3-го поколения	4-го поколения	
Индивидуальное	1,3	1,8	2,0	10
Мелкосерийное	1,2	1,5	1,8	9,6
Серийное	1,0	1,2	1,5	7,6
Крупносерийное	0,75	0,9	1,12	5,4
Массовое	0,70	0,85	1,05	3,7

Сменная норма  $T_{п.з}$  определяется инструкцией по эксплуатации оборудования и выражает готовность оборудования на начало ТП (таблица 3.5).

Таблица 3.4 – Значения коэффициента  $K_3$  в зависимости от условий работы

Характер работ	$K_3$ , %
Простые легкие	3
Простые средние	5
Простые в неблагоприятных условиях	6
Простые в тяжелых условиях	9
Простые с большим зрительным напряжением	12
Тяжелые или в особо неблагоприятных условиях	16
Особо тяжелые и в неблагоприятных условиях	20

Таблица 3.5 – Укрупненные нормы подготовительно-заключительного времени

Тип оборудования	$T_{п.з}$ , см, мин
Простая оснастка	1–5
Оснастка средней сложности (с пневмо- или электроприводом)	10–15
Сложная технологическая и регулировочная оснастка	15–30
Полуавтоматы	15–25
Сложное автоматическое оборудование	20–30
Микропроцессорное оборудование, управляемые роботы	30–40
Установки волновой пайки	50–60

Для выбора оптимального варианта ТП составляют два уравнения для вычисления суммарного штучно-калькуляционного времени сравниваемых вариантов в соответствии с технической нормой времени:

$$\sum_{i=1}^m T_{шт.-к i} = \sum_{i=1}^m T_{шт i} + \sum_{i=1}^m T_{п.з i} / N, \quad (3.21)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{шт.-к i} = \sum_{i=1}^n T_{шт i} + \sum_{i=1}^n T_{п.з i} / N,$$

где  $m$ ,  $n$  – число операций по вариантам.

Тогда критический размер партии изделий равен

$$N_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{п.з i} - \sum_{i=1}^n T_{п.з i}}{\sum_{i=1}^n T_{шт i} - \sum_{i=1}^m T_{шт i}}. \quad (3.22)$$

Если вариант ТП отличается большим уровнем автоматизации, то ему соответствует большее суммарное подготовительно-заключительное время вследствие сложности подготовки оборудования и одновременно меньшее суммарное штучное время.

Важным показателем правильности выбора технологического оборудования является коэффициент загрузки и использования оборудования по основному времени. Коэффициент загрузки оборудования  $K_3$  определяется как отношение расчетного количества единиц оборудования по данной операции  $n_p$  к принятому (фактическому) количеству  $n_{пр}$ :

$$K_3 = \frac{n_p}{n_{пр}}. \quad (3.23)$$

Расчетное количество единиц оборудования (рабочих мест) определяется как отношение штучного времени данной операции  $T_{шт}$  к ритму выпуска  $r$ :

$$n_p = \frac{T_{шт}}{r}. \quad (3.24)$$

Для наглядности представления о средней загрузке оборудования на линии и каждой единицы оборудования строят график загрузки (рисунок 3.7).

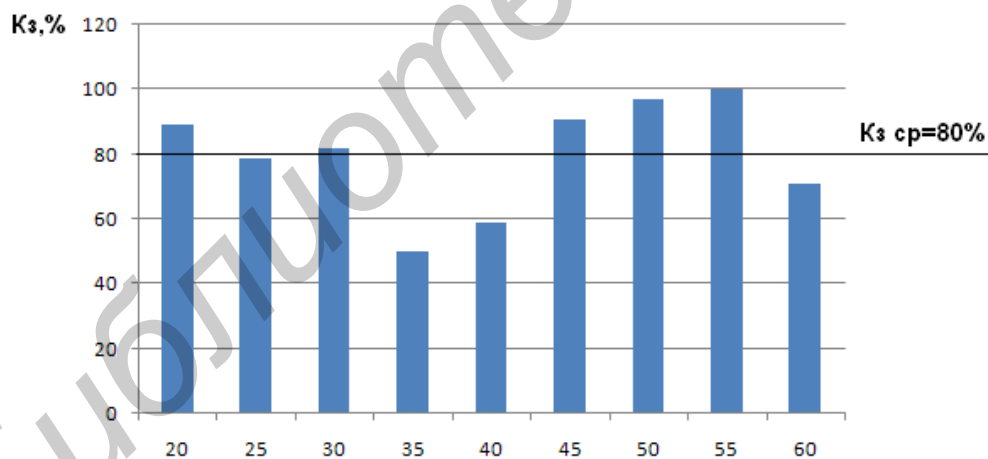


Рисунок 3.7 – График загрузки оборудования на участке

При выполнении данного этапа проектирования ТП сборки и монтажа электронного модуля рекомендуется следовать следующей методике:

1 В соответствии с «Общими правилами разработки ТП и выбора средств технологического оснащения» ГОСТ 14.301-73 разработать 2 варианта маршрутного ТП сборки электронного блока.

2 Для каждого из вариантов выбрать технологическое оборудование по имеющимся техническим характеристикам.

3 Рассчитать трудоемкость операций для каждого из вариантов маршрутного ТП сборки блока ЭА, представляя результаты расчетов в виде таблицы 3.6.

4 Определить трудоемкость ТП сборки по сравниваемым вариантам.

5 Рассчитать  $N_{кр}$  и определить оптимальный вариант маршрутного ТП сборки и монтажа блока ЭА.

6 Рассчитать коэффициенты загрузки оборудования для оптимального варианта ТП, определить средний коэффициент загрузки для участка и построить график загрузки оборудования.

Таблица 3.6 – Маршрутный ТП сборки и монтажа (вариант 1)

№ операции	Наименование операции	Оборудование, оснастка	$T_{оп}$ , мин	$T_{шт}$ , мин	$T_{п.з.}$ , мин	$T_{шт.-к.}$ , мин
05	Комплектовочная	Стол монтажный ОМ1595	4	4,49	2700	4,51
10	Подготовка транзисторов к монтажу	Автомат 2.241.009	0,2	0,224	13500	0,278
15	Нанесение паяльной пасты	Автомат трафаретной печати ERSA 248	0,06	0,67	16200	0,132
20	Установка ПМ-компонентов	Автомат МСМШ	0,29	0,33	16200	0,396
25	Пайка платы	Печь конвективного оплавления OmniFlo 5	0,07	0,078	21600	0,164
30	Очистка платы	Линия промывки плат Aquarak	2,5	2,8	13500	2,86
35	Установка диодов	Автомат ГТМ1.149007	0,18	0,2	16200	0,27
40	Установка микросхем	Автомат УР-10	0,06	0,67	16200	0,132
45	Установка вилок	Автомат-секвенсор 6380В radial 8ХТ	0,03	0,034	16200	0,099
50	Пайка платы	Установка пайки Есопрак-229	0,05	0,056	32400	0,186
55	Очистка платы	Линия промывки плат Aquarak	2,5	2,8	13500	2,86
60	Контроль визуальный	Приспособление визуального контроля ГТ63669.012	0,5	0,56	2700	0,57
65	Контроль электрический	Автомат МТС 180	0,9	1,0	16200	1,04
70	Маркировка	Стол монтажный ОМ1595	1.0	1,12	2700	1,13
75	Нанесение защитного покрытия	Линия промывки плат Aquarak	2,5	2,8	13500	2,86
Итого:			14,84	17,832	213300	18,57

Технические характеристики оборудования для сборки и монтажа блоков электронной аппаратуры на печатных платах представлены в приложениях Е и Ж.

### 3.4 Разработка операционной технологии и оформление комплекта технологических документов на процесс сборки электронного блока

Единые правила выполнения, оформления, комплектации и обращения технологической документации установлены комплексом стандартов Единой системы технологической документации (ЕСТД).

К ТД относятся графические и текстовые документы, назначение и содержание которых приведены в таблице 3.7. Технологическая документация разрабатывается в виде комплекта документов. Виды ТД устанавливает ГОСТ 3.1102-81, состав, формы и правила оформления информационных блоков основной надписи – ГОСТ 3.1103-82, общие требования к документам, формам и бланкам – ГОСТ 3.1104-81, термины и определения основных понятий – ГОСТ 3.1109-82.

Таблица 3.7 – Виды и назначение основных технологических документов

Вид документа	Содержание и назначение документа
Маршрутная карта (МК)	Описание ТП изготовления изделия по всем операциям в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах
Технологическая инструкция (ТИ)	Описание приемов работы или ТП, правил эксплуатации средств технологического оснащения, физических и химических явлений, происходящих на отдельных операциях
Карта эскизов (КЭ)	Эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения ТП, операции или перехода
Комплектовочная карта (КК)	Данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия
Ведомость материалов (ВМ)	Данные о заготовках, нормах расхода материала
Ведомость оснастки (ВО)	Перечень технологической оснастки и инструментов, необходимых для выполнения данного ТП
Ведомость технологических документов (ВТД)	Состав и комплектность ТД, необходимых для изготовления изделия
Операционная карта (ОК)	Описание технологической операции с указанием переходов, данных о технологическом оборудовании, оснастке, инструментах и режимах обработки
Ведомость операции (ВОП)	Описание и перечень всех операций технологического контроля, выполненных в одном цехе в технологической последовательности, с указанием данных о контрольной оснастке, инструментах и требований к контролируемым параметрам

При серийном производстве и маршрутно-операционном типе ТП комплект ТД включает:

- 1 титульный лист (ГОСТ 3.1105-74);
- 2 ведомость технологических документов (ГОСТ 3.1122-84, формы 4, 4а);
- 3 комплектовочную карту (ГОСТ 3.1123-84, формы 6, 6а);
- 4 маршрутную карту (ГОСТ 3.1118-82, формы 1, 1а);
- 5 операционные карты (ГОСТ 3.1407-82, формы 3, 3а или 2, 2а);
- 6 ведомость оснастки (ГОСТ 3.1122-84, формы 2, 2а);
- 7 ведомость операции контроля (ГОСТ 3.1105-74, форма 3).

При крупносерийном или массовом производстве и операционном типе ТП комплект ТД включает:

- 1 титульный лист (ГОСТ 3.1104-81);
- 2 ведомость технологических документов (ГОСТ 3.1122-84, формы 4, 4а);
- 3 комплектовочную карту (ГОСТ 3.1123-84, формы 6, 6а);
- 4 маршрутную карту (ГОСТ 3.1118-82, формы 2, 2а);
- 5 операционные карты (ГОСТ 3.1407-82, формы 3, 3а или 2, 2а);
- 6 карту эскизов (ГОСТ 3.1105-84, формы 7, 7а);
- 7 ведомость оснастки (ГОСТ 3.1122-84, формы 3, 3а);
- 8 операционную карту контроля (ГОСТ 3.1502-74).

Технологические документы заполняются следующими способами:

- машинописным с шагом письма 2,54 или 2,6 мм;
- с применением печатного устройства (ГОСТ 2.004-88) шрифтом 11 пт.

Наименование разделов и подразделов записывают в виде заголовков и подзаголовков и при необходимости подчеркивают. Под заголовками и между разделами следует оставлять 1–2 свободные строки. Запись данных следует производить в технологической последовательности выполнения операций, переходов, приемов работ, физических и химических процессов.

*Операции* нумеруют числами ряда арифметической прогрессии (5, 10, 15 и т. д.). Допускается к числам добавлять слева нули. *Переходы* нумеруют числами натурального ряда (1, 2, 3 и т. д.) в пределах данной операции. *Установы* нумеруют прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т. д.). Размерные характеристики и обозначение обрабатываемых поверхностей указывают арабскими цифрами. Для обозначения позиций и осей допускается применять римские цифры.

Допускается применять сокращенную запись наименований и обозначений, если в документе записаны коды или полные наименования и обозначения этих данных. Например, при последовательном применении инструмента одного кода и наименования в нескольких переходах одной операции полную информацию указывают только для перехода, где он впервые применяется. В следующем переходе записывают: «То же», далее – кавычки. При применении инструмента одного кода и наименования в разных переходах одной операции, не следующих друг за другом, в переходе, где впервые был применен данный инструмент, допускается указывать номера последующих переходов, например «ШЦ 11-250-0,05 (для переходов 3, 5, 8)». При этом, записывая соответствующую информацию в этих переходах, дают ссылку, например «см. переход 1».

*Титульный лист* (ТЛ) является первым листом комплекта технологических документов и заполняется на формах 1–4 в соответствии с ГОСТ 3.1105-84. Форму 2 применяют для документов с горизонтальным расположением поля подшивки. В основной надписи, располагаемой в верхней правой части ТЛ, указывают наименование и обозначение изделия по конструкторскому документу, технологический код процесса, литеру, соответствующую этапу разработки, количество листов. Ниже указывают наименование министерства, организации-



разработчика. Еще ниже указывают должности и фамилии лиц, согласовавших комплект документов (слева) и утвердивших документ (справа).

Далее прописными буквами записывают: «КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ», ниже строчными – название ТП. В нижней части ТЛ указывают номер акта и дату внедрения ТП в производство, например: АКТ N 14-87 от 15.05.2001.

*Маршрутная карта* (МК) является одним из важнейших технологических документов комплекта и имеет ряд форм. Выбор и установление области применения соответствующих форм МК зависит от видов разрабатываемых технологических процессов, назначения и формы в составе комплекта ТД и применяемых методов проектирования. Формы и правила оформления МК устанавливает ГОСТ 3.1118-82. При маршрутном и маршрутно-операционном описании ТП МК является одним из основных документов, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности выполнения операций. При операционном описании ТП МК выполняет роль сводного документа, в котором указывается адресная информация (номер участка, рабочего места, операции), наименование операции, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты.

Для изложения ТП в МК используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой символ. Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки документа, и предназначены для обработки содержащейся информации средствами механизации и автоматизации. В качестве обозначения служебных символов приняты буквы русского алфавита, которые отражают определенные виды информации и проставляются перед номером строки.

Запись на строках, имеющих символ О, следует выполнять в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью переноса при необходимости информации на следующие строки. При операционном описании ТП номер проставляют в начале строки. Информацию в строках с символом Т записывают в такой последовательности: приспособления, вспомогательный, режущий, слесарно-монтажный, специальный инструмент, средства измерения. Запись выполняют по всей длине строки, разделяя каждый вид инструмента знаком «;». Количество одновременно применяемых единиц технологической оснастки указывают после кода (обозначения), заключая в скобки, например ГУИР.ХХХХХХ.ХХХ (5), приспособление для гибки.

При заполнении МК и ОК руководствуются следующими правилами и требованиями:

– именовать операции кратко, без возможности других толкований, начиная с отглагольного существительного (например: «Установка ЭРЭ на печатные платы», «Пайка микросборок на печатные платы», «Контроль блока»);

– переходы формулировать глаголами в повелительном наклонении (например: «Извлечь деталь из тары», «Закрепить ручку согласно чертежу», «Проверить внешним осмотром качество и правильность крепления печатного узла

согласно чертежу»), т. е. построение фразы при формулировании перехода должно обращать внимание исполнителя в первую очередь на главное действие, а затем указываются предметы и действия, посредством которых достигается основная цель;

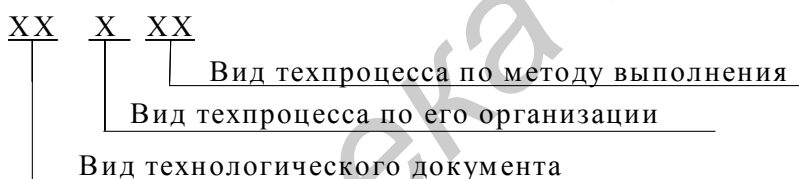
– все операции, включая регулировочные и контрольные, вносить в ТД в порядке их выполнения.

Каждому разработанному технологическому документу присваивается самостоятельное обозначение. Согласно ГОСТ 3.1201-85 установлена следующая структура обозначения документа:



Четырехзначный буквенный код организации-разработчика присваивается по классификатору предприятий и организаций. В учебных целях для курсовых проектов рекомендуется назначать код ГУИР.

Код характеристики документа расшифровывается следующим образом:



Код характеристики документа назначается в соответствии с таблицами 3.8 – 3.10.

Таблица 3.8 – Вид технологического документа

Код	Вид технологического документа
01	Комплект технологической документации
10	Маршрутная карта
20	Карта эскизов
25	Технологическая карта
30	Комплектовочная карта
40	Ведомость документов
42	Ведомость оснастки
43	Ведомость материалов
44	Ведомость деталей (сборочных единиц)
50	Карта технологического процесса
60	Операционная карта

Порядковый регистрационный номер присваивают по классификационной характеристике от 00001 до 99999 в пределах кода организации-разработчика или организации, осуществляющей централизованное присвоение.

Пример обозначения маршрутной карты на сборку платы: ГУИР. 10188.00005, где ГУИР – код организации-разработчика; 10 – вид технологического документа (маршрутная карта); 1 – вид технологического процесса по организации (единичный процесс); 88 – вид технологического процесса по методу выполнения (сборка и монтаж); 00005 – порядковый регистрационный номер.

Таблица 3.9 – Вид техпроцесса по организации

Код	Вид техпроцесса по организации
0	Без указания
1	Единичный процесс
2	Типовой процесс
3	Групповой процесс

Согласно ГОСТ 3.1102-81 установлены следующие стадии разработки ТД: на этапе разработки конструкторской документации «Эскизный проект» и «Технический проект» технологическая документация соответствует стадии «Предварительный проект» с присвоением литеры **П**; рабочей документации стадии «Опытный образец» присваивается литера **О**, стадии «Установочная серия» – литера **А**, массового или серийного производства – литера **Б**. Разработка технологической документации в курсовом и дипломном проекте соответствует стадии технического проекта или рабочей документации на стадии опытного образца.

Таблица 3.10 – Вид техпроцесса по методу выполнения

Код	Вид техпроцесса по методу выполнения
00	Без указания
01	Общего назначения
02, 03	Технический контроль
07	Испытания
10	Литье
30	Холодная штамповка
40–42	Механическая обработка
50, 51	Термическая обработка
60	Изготовление деталей из пластмасс
70	Нанесение защитного покрытия
71	Нанесение химического, электрохимического покрытий и химическая обработка
75	Электрофизическая обработка
79	Ультразвуковая обработка
80, 81	Пайка
85	Электромонтажные работы
88	Слесарные, слесарно-сборочные и электромонтажные работы
89	Обмоточные и пропиточные работы
90, 91	Сварка

При выполнении данного этапа проектирования ТП рекомендуется придерживаться следующего порядка:

1 Определить содержание операций выбранного варианта маршрутного технологического процесса.

2 Оформить титульный лист комплекта технологических документов.

3 Оформить маршрутную карту на маршрутный ТП.

4 Оформить операционные карты на 2–3 наиболее важные операции технологического процесса сборки и монтажа электронного модуля.

5 Оформить комплектовочную карту.

6 Оформить ведомость технологических документов.

Примеры оформления перечисленных технологических документов приведены в приложении И.

## 4 ОФОРМЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

### 4.1 Комплектность конструкторских документов

В ходе курсового проектирования разрабатываются графические (чертежи, схемы, графики) и текстовые (спецификации, перечни элементов и т. д.) конструкторские документы (КД). Комплект КД определяет состав и устройство проектируемого изделия и содержит данные, необходимые для его изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. В соответствии с ГОСТ 2.102-68 КД подразделяют на следующие виды (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Номенклатура конструкторских документов (по ГОСТ 2.102-68)

Шифр КД	Вид документа
–	Чертеж детали
СБ	Сборочный чертеж
ВО	Чертеж общего вида
ТЧ	Теоретический чертеж
ГЧ	Габаритный чертеж
МЭ	Электромонтажный чертеж
МЧ	Монтажный чертеж
УЧ	Упаковочный чертеж
–	Схемы
–	Спецификация
ВС	Ведомость спецификаций
ВД	Ведомость ссылочных документов
ВП	Ведомость покупных изделий
ВИ	Ведомость согласования применения покупных изделий
ДП	Ведомость держателей подлинников
ПТ	Ведомость технического предложения
ЭП	Ведомость эскизного проекта
ТП	Ведомость технического проекта
ПЗ	Пояснительная записка
ТУ	Технические условия
ТО	Технические описания
ПМ	Программа и методика испытаний
ТБ	Таблицы
РР	Расчеты
Д	Документы прочие
ПФ	Патентный формуляр
–	Документы эксплуатационные
–	Документы ремонтные
КУ	Карта технического уровня и качества
И	Инструкция

В объеме одного курсового проекта невозможно представить полный комплект КД на изделие. Поэтому состав и объем КД определяется руководителем курсового проекта и оговаривается в задании.

Для оценки способности самостоятельно проектировать изделия наибольший интерес представляет рабочая КД, которая включает принципиальные схемы и сборочные чертежи с перечнем элементов и спецификациями, а также чертежи деталей.

Мелкие форматы детализовок выполняются, как правило, на одном целом листе формата А1 (это касается и всех остальных графических документов).

## 4.2 Особенности обозначения конструкторских документов

В оформлении любого конструкторского документа большое значение имеет система обозначения. Быстро разыскать чертеж, правильно распределить документы по исполнителям изделия, внести изменения в чертеж или заменить его, и многое другое – все это требует хорошо продуманной системы обозначений. Единая обезличенная классификационная система обозначения изделий и их конструкторских документов устанавливается ГОСТ 2.201-80.

ГОСТ 2.101-68 устанавливает виды изделий при разработке конструкторской документации. Стадии разработки КД установлены ГОСТ 2.103-68; виды КД – ГОСТ 2.102-68, 2.701-2008, 2.601-68.

При разработке КД в курсовых проектах документации рекомендуется присваивать литеру **О**, **Т** или **И**.

Обозначения изделиям и конструкторским документам могут быть присвоены централизованно или децентрализованно. Централизованное присвоение обозначений в пределах объединения, отрасли могут осуществлять организации, которым это поручено министерством, ведомством. Децентрализованное присвоение обозначений могут осуществлять организации-разработчики.

Конструкторские документы сохраняют присвоенное им обозначение независимо от того, в каких изделиях они применяются, причем эти обозначения записывают без сокращений и изменений, за исключением случаев, предусмотренных ГОСТ 2.113-75. Если конструкторский документ выполнен на нескольких листах, его обозначение должно быть указано на каждом листе.

Деталям, на которые не предусмотрен выпуск чертежей, присваиваются самостоятельные обозначения по общим правилам.

Согласно ГОСТ 2.201-80 установлена следующая структура обозначения изделия и основного конструкторского документа:

	X X X X.	X X X X X X.	X X X
Код организации-разработчика			
Код классификационной характеристики			
Порядковый регистрационный номер			

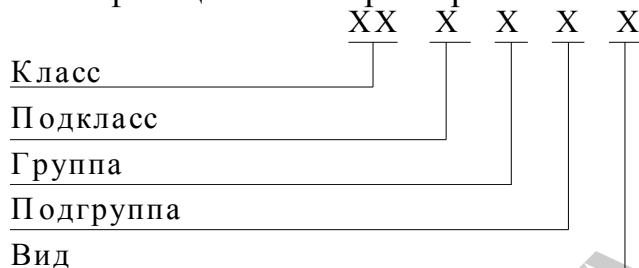
Четырехзначный буквенный код организации-разработчика присваивается по кодификатору организаций-разработчиков. В БГУИР принят следующий код: ГУИР – для дипломных и курсовых проектов.

Код классификационной характеристики присваивают изделию и конст-

рукторскому документу в соответствии с классификатором ЕСКД.

Классификатор ЕСКД введен в действие с 1 января 1984 г. Всего в классификаторе 100 классов. Все изделия размещены в 50 функционально однородных классах. Оставшиеся 50 классов являются резервными. Занятыми классами являются следующие: 04, 05, 06, 10, 16, 20, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 94.

Структура кода классификационной характеристики:



При классификации изделий в классах использованы в основном следующие признаки:

- функциональный (основная эксплуатационная функция, выполняемая изделием);
- конструктивный (конструктивные особенности изделия);
- принцип действия (физический, физико-химический процесс, на основе которого действует изделие);
- параметрический (величины и степени точности рабочих параметров изделий: основные размеры, мощность, напряжение, сила тока и др.);
- геометрические формы.

Наиболее общие признаки используются на верхних уровнях классификации (класс, подкласс) и конкретизируются на последующих уровнях.

Каждый класс классификатора делится на 10 подклассов (от 0 до 9), каждый подкласс – на 10 групп, каждая группа – на 10 подгрупп, а каждая подгруппа – на 10 видов.

Практически во всех классах не все подклассы заняты, часть из них оставлена для вновь разрабатываемых типов изделий. По такому же принципу разбиты и подклассы, группы, виды.

Порядковый регистрационный номер КД присваивают по классификационной характеристике от 001 до 999 в пределах кода организации-разработчика или организации, осуществляющей централизованное присвоение.

Например, электронный измеритель температуры можно закодировать следующим образом: ГУИР.405123.001 – класс 40 (средства измерений линейных и угловых размеров, параметров движения, времени, силы, массы, температуры, давления, расхода количества), подкласс 5 (средства измерений температуры). Группа, подгруппа и вид описывают более подробно принцип измерения температуры, вид прибора и т. п.

В наименованиях изделий используют следующие отличительные признаки:

- *функциональность*, т. е. указывается основная функция, выполняемая

деталью, например «кольцо стопорное»;

- *служебное назначение*, например «лопатка турбинная»;
- *геометрическая форма*, например «шпонка клиновая»;
- *принцип действия*, например «шайба пружинная».

При обозначении неосновных конструкторских документов (кроме чертежей деталей и спецификаций) к обозначению основного документа добавляются соответствующий код, установленный ГОСТ 2.102-68 (см. таблицу 4.1). Структура обозначения неосновного КД следующая:

<u>X X X X . X X X X X X . X X X X X X</u>
Обозначение изделия
Код документа

В коде документа должно быть не более четырех знаков, включая номер части документа, например: ГУИР.301341.021 СБ – сборочный чертеж; ГУИР.301341.021 ТУ – технические условия.

При групповом или базовом выполнении КД обозначение документа состоит из базового обозначения, как в рассмотренных выше случаях, и порядкового номера исполнения. Каждому исполнению изделия следует присваивать самостоятельное обозначение:

<u>X X X X . X X X X X X . X X X - X X</u>
Базовое обозначение
Порядковый номер исполнения

В курсовых проектах некоторые чертежи представляют собой графики – результаты исследований характеристик изделия или режимов технологических процессов. Их следует относить к прочим документам (Д, Д1 и т. д. в зависимости от количества графиков). Таким документам устанавливается классификационная характеристика изделия и добавляется к обозначению основного конструкторского документа (спецификации проектируемого изделия, оборудования и т. п.). Пример: *ГУИР.941123.001 Д – Измеритель температуры электронный. Графики исследований.*

Особенности заполнения основной надписи и дополнительных граф к ним устанавливает ГОСТ 2.104-68. Если технический документ выполнен на нескольких листах, то обозначение должно быть указано на каждом листе документа. Деталям, на которые не выпущены чертежи, должны быть по общим правилам присвоены самостоятельные обозначения.

### 4.3 Правила оформления схем

**Схемы** – конструкторские документы, на которых составные части изделия, их взаимное расположение и связи между ними изображены условно, – позволяют значительно быстрее (чем по чертежам) разобраться в принципе и последовательности действия элементов того или иного устройства. Виды, типы и общие требования к выполнению схем установлены ГОСТ 2.701-2008.



В зависимости от элементов, входящих в состав изделия, связей между ними схемы разделяют на различные виды (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Виды схем

Виды схем	Обозначение
Электрические	Э
Гидравлические	Г
Пневматические	П
Кинематические	К
Оптические	Л
Вакуумные	В
Газовые (кроме пневматических)	Х
Автоматизации	А
Энергетические	Р
Комбинированные	С
Деления	Е

По основному назначению схемы делят на определенные типы, обозначаемые соответствующей цифрой (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Типы схем

Типы схем	Обозначение	Назначение
Структурные	1	Служат для общего ознакомления с изделием и определяют состав и взаимосвязь основных элементов изделия и их назначение
Функциональные	2	Поясняют процессы, протекающие в изделии и его составных частях
Принципиальные	3	Определяют полный состав элементов изделия и связи между ними
Монтажные	4	Показывают соединения составных частей изделия и элементы этих соединений (провода, кабели и т. п.)
Подключения	5	Показывают внешнее подключение изделия
Общие	6	Определяют составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации
Расположения	7	Определяют относительное расположение составных частей изделия

Вид и тип схемы определяют ее наименование, например: схема электрическая монтажная (Э4). Если в состав изделия входят элементы и связи различных видов, разрабатывается комбинированная схема, обозначаемая буквой С. Ее наименование определяется также и типом схемы, например, С3 – схема электропневматическая принципиальная.

Затруднения часто вызывает обозначение схем, не определенных в ГОСТ 2.701-2008, например технологической схемы сборки. Исходя из ГОСТ 3.116-79 и ГОСТ 3.1104-81, можно рекомендовать присвоение технологическим схемам, не определенным в стандартах, обозначения, состоящего из обозначения изделия с добавлением кода Д, Д1 и т. д., в зависимости от количества подобного рода документов.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба на листах стандартного формата. При этом действительное пространственное расположение составных частей изделия можно не учитывать. Элементы изделия изображают в виде условных графических обозначений, устанавливаемых соответствующими стандартами ЕСКД. Связь между ними показывают линиями связи, условно представляющими собой валы, кабели и т. п.

Схемы следует выполнять компактно, но не за счет ухудшения ясности и удобства их чтения. Линии связи изображают в виде горизонтальных и вертикальных отрезков, образующих **минимальное количество изломов и взаимных пересечений**. Длина линии связи должна быть не менее 3 мм, между отдельными условными графическими обозначениями – не менее 2 мм. Элементы, составляющие отдельное устройство, на схеме выделяют штрихпунктирными линиями с указанием наименований этого устройства.

Допускается выполнять схемы в пределах условного контура, упрощенно отображающего конструкцию изделия (например, схему платы). Условные контуры при этом выполняются сплошной линией, равной по толщине линии связи.

Устройства, имеющие самостоятельную принципиальную схему, выполняют на схемах в виде фигуры со сплошной линией контура, равной по толщине линии связи.

Функциональную группу или устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, выполняют на схемах в виде фигуры со сплошной линией контура, равной по толщине линиям связи. Фигура, как правило, должна иметь прямоугольную форму. Допускается выделять части схемы фигурами непрямоугольной формы.

Если изделие содержит одинаковые устройства, имеющие самостоятельные принципиальные схемы, то каждое из них рассматривают как элемент схемы и изображают на схеме в виде обычного условного графического обозначения, присваивают ему позиционное обозначение и записывают в перечень элементов одной позицией.

На схеме одного вида допускается изображать элементы схем других видов, непосредственно влияющих на работу изделия. Эти элементы и их связи изображают штриховыми линиями.

Схемам присваивают обозначение соответствующего им изделия. После обозначения следует записывать шифр схемы. Наименование схемы указывают в основной надписи после наименования изделия.

#### 4.3.1 Электрические схемы

Выполняются в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.701-2008, ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.708-81. В схемах следует применять условные графические обозначения элементов, предусмотренные стандартами седьмой классификационной группы (ГОСТ 2.747-68 и др.). Изделие на схеме следует изображать в отключенном состоянии.

На **структурной схеме** (Э1) изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные

взаимосвязи между ними. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или условных графических обозначений.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

При большом количестве функциональных частей допускается вместо наименований, типов и обозначений проставлять порядковые номера справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо. В этом случае наименования, типы и обозначения указывают в таблице, помещаемой на поле схемы.

Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т. п.).

На **функциональной схеме** (Э2) изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, который иллюстрируется схемой, и связи между этими частями.

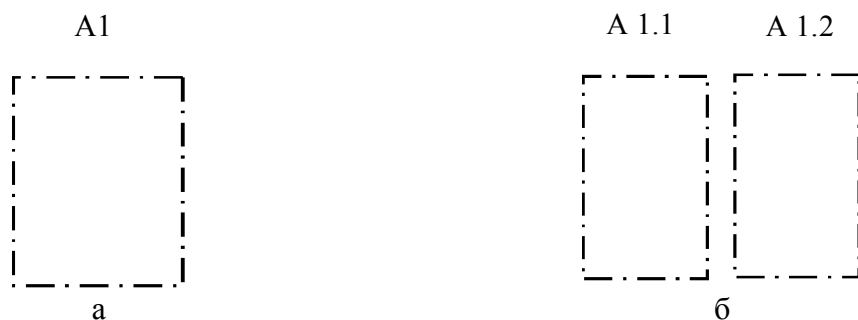
Функциональные части и связи между ними на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой системы конструкторской документации. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников.

На схеме рекомендуется указывать технические характеристики функциональных частей (рядом с графическими обозначениями или на свободном поле схемы), поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т. д.).

**Схема электрическая принципиальная** (Э3) является наиболее полной электрической схемой изделия, на которой изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии данных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Электрические элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД. Элементы, используемые в изделии частично, допускается изображать не полностью, а только используемые части.

Условные графические обозначения элементов и устройств выполняют *совмещенным* или *разнесенным* способом. При *совмещенном* способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При *разнесенном* способе составные части элементов и устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно (рисунок 4.1 а, б).



а – совмещенное изображение; б – разнесенное изображение

Рисунок 4.1 – Фрагмент построения схемы электрической

При изображении элементов *разнесенным* способом допускается на свободном поле схемы помещать условные графические обозначения элементов, выполненные совмещенным способом. При этом элементы, используемые в изделии частично, изображают полностью с указанием использованных и неиспользованных частей (например, все секции ИМС или все контакты реле). Выводы неиспользованных частей изображают короче, чем выводы использованных.

Схемы выполняют в *многолинейном* или *однолинейном* изображении. При *многолинейном* изображении каждую цепь изображают отдельной линией, а элементы, содержащиеся в этих цепях, – отдельными условными графическими обозначениями. При *однолинейном* изображении цепи, выполняющие идентичные функции, изображают одной линией, а одинаковые элементы этих цепей – одним условным графическим изображением (рисунок 4.2).



а – многолинейное изображение; б – однолинейное изображение

Рисунок 4.2 – Фрагмент схемы электрической принципиальной

При изображении на одной схеме функциональных цепей допускается различать их толщиной линии. На одной схеме рекомендуется применять не более трех размеров линий по толщине.

Элементы на схеме рекомендуется группировать в соответствии с функциональным назначением в горизонтальные и вертикальные цепи.

Элементы должны быть соединены линиями электрической связи. При этом расстояние между параллельными линиями должно быть не менее 3 мм. При большом числе линий связи и их большой протяженности можно группировать электрически не связанные линии – шины, увеличивая расстояние между группами. Вход единичной линии в групповую и выход из нее должны обозначаться буквами или цифрами.

В состав схемы кроме изображений входят надписи, характеризующие входные и выходные цепи, позиционные обозначения элементов и перечень элементов.

Каждый элемент схемы должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, наносимое рядом с его условным графическим обозначением (сверху или справа). Позиционное обозначение должно состоять в общем случае из трех частей:

- буквенного кода элемента, определяющего его вид, – одна или несколько букв латинского алфавита (например VT – транзистор);
- порядкового номера элемента в пределах группы элементов одного вида – одна или несколько арабских цифр;
- буквенного кода функционального назначения данного элемента – одна или несколько букв латинского алфавита.

Нумерацию элементов выполняют по порядку, начиная с единицы, в соответствии с расположением элементов, считая сверху вниз и слева направо. Буквы и цифры обозначения следует выполнять чертежным шрифтом одного размера.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме.

Расположение условных обозначений элементов определяется последовательностью процесса и удобством чтения схемы, возможностью нанесения позиционных обозначений и, при необходимости, номинальных параметров элементов.

На схеме изделия разрешается изображать отдельные элементы, не входящие в данное изделие, но необходимые для разъяснения принципа его работы. Графические обозначения этих элементов отделяют от основной схемы тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками.

На схемах рекомендуется приводить характеристики входных и выходных цепей (ток, напряжение, частоту и т. п.) и адреса внешних соединений, записывая их в таблицы, помещаемые взамен условных графических обозначений (плат, разъемов и т. п.). Таблицы должны иметь позиционное обозначение записываемого элемента. Адрес должен обеспечивать однозначность присоединения.

Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы. При наличии на схеме нескольких таблиц допускается головку таблицы приводить только в одной из них. При необходимости допускается вводить в таблицу дополнительные графы. Допускается проставлять в графе «Конт.» несколько последовательных номеров контактов, в случае если они соединены между собой. Номера контактов отделяют друг от друга запятой.

Сведения о контактах в соединителях указывают одним из следующих способов:

1 Около изображения соединителя, на свободном поле схемы или на последующих листах схемы помещают таблицы, в которых указывают адрес соединения: обозначение цепи (рисунок 4.3) и (или) позиционное обозначение элементов, присоединяемых к данному контакту. При необходимости в таблице приводятся характеристики цепей и адреса внешних соединений.

В графах таблиц указывают следующие данные:

- в графе «Конт.» – номер контакта, соединителя. Номера контактов записывают в порядке возрастания;

- в графе «Цепь» – характеристику цепи;
- в графе «Адрес» – обозначение цепи и (или) позиционного обозначения элементов, соединяемых с контактами.

Конт.	Цепь	Адрес
1	+5 В	X2:3
2	Сигнал	X2:5
3	Корпус	X2:7

Рисунок 4.3 – Таблица адресов

2 Соединения с контактами соединителя изображают разнесенным способом (рисунок 4.4).

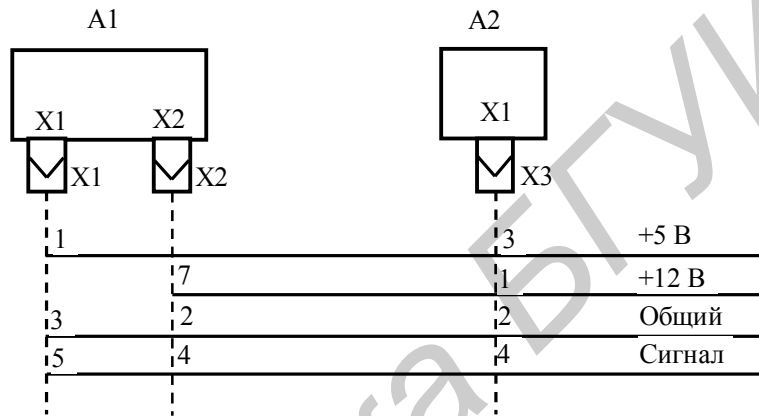


Рисунок 4.4 – Разнесенный способ указания таблицы адресов

При изображении устройств в виде прямоугольников допускается взамен условных графических обозначений входных и выходных элементов помещать таблицы с характеристиками входных и выходных цепей, а вне прямоугольника – таблицы с указанием адресов внешних соединений.

В таблице разрешается взамен слова «Конт.» помещать условное графическое обозначение контакта соединителя.

В прямоугольниках, изображающих устройства, имеющие самостоятельные электрические принципиальные схемы, допускается помещать их структурные или функциональные схемы или повторять принципиальные схемы. Элементы этих устройств в перечень не записывают.

Если в изделие входит несколько одинаковых устройств, то схему устройства помещают не в прямоугольник, а на свободном поле, с надписью типа «Схема блока А1-А3».

На поле схемы допускается помещать указания о марках, сечениях и расцветках соединительных проводов и кабелей, а также специальные указания к электрическому монтажу изделия.

При выполнении принципиальной схемы на нескольких листах должны соблюдаться следующие требования:

- 1) нумерация позиционных обозначений элементов должна быть сквозной в пределах изделия (устройства);

2) перечень элементов должен быть общим;

3) при повторном изображении отдельных элементов на других листах схемы следует сохранять позиционные обозначения, присвоенные им на одном из листов схемы.

Элементы с регулируемыми параметрами на схеме обозначаются звездочкой, на свободном поле схемы (в технических требованиях) помещается сноска: «Подбирается при регулировании», а в графе «Примечание» перечня элементов указываются предельные допустимые значения параметров. Пример оформления схемы электрической принципиальной приведен в приложении К.

### 4.3.2 Перечень элементов

При составлении схем данные об элементах схемы должны быть сведены в перечень элементов. Его помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного текстового документа на отдельных листах формата А4. Перечень элементов оформляют в виде таблицы и заполняют сверху вниз. В графах таблицы необходимо приводить следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» – позиционное обозначение элемента;
- в графе «Наименование» – наименование элемента схемы в соответствии с документом, на основании которого этот элемент применен с указанием данного нормативно-технического документа (ТУ, СТБ, ГОСТ и т. п.);
- в графе «Кол.» – количество одинаковых элементов по каждому наименованию;
- в графе «Примечание» – технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании. При разбивке поля схемы на зоны перечень элементов слева дополняют графой «Зона», указывая в ней обозначение зоны, в которой расположен элемент или устройство.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов можно помещать слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

При выполнении перечня в виде отдельного текстового документа в основной надписи (графа 1) следует указать наименование изделия, для которого составлен данный перечень, а ниже сделать запись «Перечень элементов» шрифтом, меньшим на один или два пункта. В графе 2 записывают десятичный номер схемы и шифр «П», присвоенный документу, а также шифр схемы, например ПЭЗ – перечень элементов схемы электрической принципиальной. Перечень элементов записывается в спецификацию после схемы, к которой он выпущен.

Элементы в перечень следует вносить по группам в алфавитном порядке (латинский алфавит) буквенных позиционных обозначений, а в пределах каждой группы – в порядке возрастания номеров.

Ниже наименования функциональной группы (устройства) оставляют одну свободную строку, выше – не менее одной свободной строки.

Между отдельными группами элементов или внутри группы с большим количеством элементов рекомендуется оставлять несколько незаполненных строк для внесения возможных изменений. Первую и последнюю строки на каждом листе перечня элементов также не заполняют.

Если в перечень вносят элементы одной группы с одинаковым буквенным обозначением, то в графе «Наименование» общее наименование этих элементов записывают в виде заголовка (не повторяя его в каждой строке) и подчеркивают сплошной тонкой линией. Не следует повторять и обозначения документа, на основании которого применены элементы данной группы с различными параметрами.

Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме *последовательные порядковые номера*, рекомендуется записывать в одной строке перечня. Тогда в графе «Поз. обозначение» указывают только обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, а в графе «Кол.» – общее число этих элементов.

Пример заполнения перечня элементов приведен в приложении Л.

#### 4.4 Правила оформления спецификаций

*Спецификация* – основной конструкторский документ, определяющий состав изделия и всей конструкторской документации, относящейся к этому изделию. Ее следует составлять на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект. Заглавный лист оформляют по форме 1 с основной надписью по форме 2, а последующие листы – по форме 1а с основной надписью по форме 2а (ГОСТ 2.104-68).

В зависимости от состава специфицируемого изделия спецификация может состоять из разделов, которые следует располагать сверху вниз в такой последовательности:

- документация;
- комплексы;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

*Комплекс* – это два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из входящих в комплекс специфицированных изделий предназначено для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса (например, автоматическая линия станков; автоматическая телефонная станция; система, состоящая из ракеты, пусковой установки и средств управления).



*Сборочная единица* – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием и др.), например, осциллограф, блок питания, микромодуль, сварной корпус.

*Деталь* – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например, стойка из одного куска металла; литой корпус; пластина из биметаллического листа). К деталям относятся также указанные выше изделия с покрытием (защитным или декоративным) независимо от его вида, толщины и назначения (например передняя панель со сложным покрытием), а также изделия, изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки и т. п. (например трубка, спаянная из одного куска листового материала).

*Стандартное изделие* – это изделие, примененное по государственному, отраслевому или республиканскому стандарту, полностью и однозначно определяющему его конструкцию, показатели качества, методы контроля, правил приемки и поставки.

*Комплект* – это два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий с общим эксплуатационным значением вспомогательного характера, например, комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры.

*Специфицированное изделие* – это изделие, состоящее из нескольких составных частей.

*Комплектуемое изделие* – это изделие (составная часть изделия), получаемое предприятием в готовом виде и изготовленное по конструкторской документации предприятия-поставщика.

*Покупное изделие* – это изделие (составная часть изделия), получаемое предприятием в готовом виде.

*Кооперированное изделие* – это изделие (составная часть изделия), получаемое предприятием в готовом виде и изготовленное по его конструкторской документации на другом предприятии.

*Оригинальное изделие* – это изделие, примененное в конструкторской документации только данного изделия.

*Унифицированное изделие* – это изделие, примененное в конструкторской документации нескольких (разных) изделий.

*Типовое изделие* (изделие однотипного исполнения) – это изделие, принадлежащее к группе изделий близких конструкций и обладающее наибольшим числом конструктивных и технологических признаков этой группы.

Наименование разделов записывают в виде заголовков в графе «Наименование» строчными буквами (кроме первой, прописной) и подчеркивают. Ниже заголовка должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки.

В раздел «Документация» вносят все документы специфицируемого изделия, кроме его спецификации, а также документы записываемых в спецификацию неспецифицируемых составных частей (деталей) (если таковые используются), кроме их рабочих чертежей.

В разделы «Комплексы», «Сборочные единицы» и «Детали» вносят соответственно комплексы, сборочные единицы и детали специфицируемого изделия.

В раздел «Стандартные изделия» записывают изделия, примененные по государственным стандартам, отраслевым стандартам, стандартам предприятий.

В пределах каждой категории стандартов изделия записывают по группам в зависимости от функционального назначения (например, подшипники, крепежные детали, контакты и т. п.), в пределах каждой группы – в алфавитном порядке по наименованиям изделий, в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандартов – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» записывают изделия, взятые из каталогов, прейскурантов и других источников, за исключением стандартных изделий. Порядок записи подобен порядку раздела «Стандартные изделия».

В раздел «Материалы» вносят все материалы специфицируемого изделия в такой последовательности: металлы черные; металлы магнитоэлектрические и ферромагнитные; металлы цветные; кабели, провода и шнуры; пластмассы и пресс-материалы; бумажные, текстильные и лесные материалы; резиновые, минеральные, керамические и стеклянные материалы; лаки, краски, нефтепродукты и химикаты; прочие материалы.

В пределах вида материалов их записывают в алфавитном порядке наименований, в пределах наименования – по возрастанию размеров или других параметров.

Графы спецификации заполняют следующим образом.

В графе «Формат» указывают форматы документов, имеющих обозначение в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различного формата, то в графе «Формат» ставят \* («звездочку»), а в графе «Примечание» перечисляют все форматы с простановкой знака звездочки, например: \*А3, А4, А4×3. Для деталей, на которые нет чертежей, в данной графе указывают: БЧ. Для изделий, записанных в разделы «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу «Формат» не заполняют.

Если поле чертежа разбито на зоны по ГОСТ 2.104-68, то в графе «Зона» указывают обозначение зоны, где находится номер позиции записываемой части изделия.

В графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей в последовательности их записи в спецификации. Порядковые номера должны записываться по возрастанию. Рекомендуется пропускать некоторые номера для возможной последующей корректировки документации, например, 1, 3, 7 ... Графу «Поз.» не заполняют для разделов «Документация» и «Комплекты».

В графе «Обозначение» указывают: для раздела «Документация» – обозначение записываемых документов, для разделов «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» и «Комплекты» – обозначение основных конструкторских документов на записываемые изделия; для деталей, выпущенных без чертежей, – присвоенное им обозначение (если таковое имеется). Графу не заполняют для разделов «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы».

В графе «Наименование» указывают:

- в разделе «Документация» для документов специфицируемого изделия – только их наименование; например «Сборочный чертеж», «Габаритный чертеж», «Технические условия», «Пояснительная записка»; для документов на неспецифицируемые части – наименования изделия и документа;

- в разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» и «Комплекты» – наименования изделий в соответствии с их основной надписью на основных конструкторских документах; для деталей без чертежа указывают наименования и материалы, а также размеры, необходимые для их изготовления;

- в разделе «Стандартные изделия» – наименования и обозначения изделий в соответствии с нормативно-технической документацией;

- в разделе «Прочие изделия» – наименования и условные обозначения изделий по документам на их поставку с указанием обозначений этих документов;

- в разделе «Материалы» – обозначение материала с указанием нормативно-технической документации (ГОСТ, СТБ, ТУ ...).

Допускается для изделий и материалов, различающихся размерами и другими данными и примененных по одному документу, общую часть наименования с обозначением документа записывать *на каждом листе* спецификации один раз в виде заголовка. Под общим наименованием для каждого изделия и материала следует записывать только их параметры и размеры. Если основные параметры или размеры изделия обозначаются одним числом или буквой, то не допускается пользоваться указанным допущением. Тогда запись выполняют следующим образом:

Подшипники ГОСТ 8338-75

Подшипник 203

Подшипник 412 и т. д.

В графе «Кол.» указывают количество составных частей на одно специфицируемое изделие, а для раздела «Материалы» – общее количество материала на одно изделие с указанием единицы величины, которая приведена в нормативно-технической документации на материал. Последние допускается записывать и в графе «Примечание». Количество таких материалов, как припой, клей, флюс, электроды для сварки и т. п., в спецификации не указывают. Эти сведения дают на поле чертежа в технических требованиях. В разделе «Документация» данную графу не заполняют.

После каждого раздела спецификации необходимо оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей. *Первую и последнюю строки на каждом листе спецификации не заполняют.* Наличие разделов спецификации зависит от состава специфицируемого изделия.

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом при условии его размещения на листе формата А4. При этом основную надпись выполняют по ГОСТ 2.104-68 (форма 1) с указанием обозначения основного конструкторского документа (спецификации).

Пример выполнения спецификации на сборочный чертеж платы приведен в приложении М.

#### 4.5 Особенности оформления чертежей плат печатных

Одними из основных чертежей в курсовых проектах являются чертежи печатных плат. Термины, относящиеся к печатным платам (ПП) и узлам, приведены в ГОСТ 20406-75. Методы конструирования и расчета содержит ГОСТ 23751-86, общие технические условия приведены в ГОСТ 23752-86. Согласно требованиям ГОСТ 10317-79, размеры каждой стороны 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 – не более 3:1. ГОСТ 2.417-91 устанавливает основные правила выполнения чертежей ПП. Чертежи ПП содержат координатную сетку, которая наносится с шагом 1,25 или 2,5 мм. Размеры отверстий, их количество, размеры зенковки и другие сведения помещают в таблице, расположенной на поле чертежа. Печатные элементы (проводники, экраны, монтажные площадки) следует штриховать. При ширине проводника на чертеже менее 2 мм его изображают сплошной жирной линией.

Чертежи *односторонних* и *двухсторонних* печатных плат называют **Плата печатная** и относят к 75 классу 8 подклассу по классификатору ЕСКД. Например, *ГУИР. 758716.003 Плата печатная*.

Чертеж *многослойной* ПП называют **Плата печатная многослойная** и относят к 68 классу 7 подклассу по классификатору ЕСКД. Например, *ГУИР. 687263.007 Плата печатная многослойная*. В состав комплекта чертежей на многослойную ПП входят спецификация и сборочный чертеж. В спецификации в разделе «Документация» содержатся сведения о конструкторских и технологических документах на многослойную ПП (сборочный чертеж (СБ), таблица координат отверстий (ТБ), ведомость документов на носителях данных (ВН) и т. п.), в разделе «Детали» – сведения о слоях ПП (они оформляются, как правило, в виде чертежей БЧ с указанием материала и размера), в разделе «Материалы» – сведения о прокладках между слоями ПП. На первом листе сборочного чертежа указываются технические требования, требования к отверстиям, внешний вид ПП с габаритными и присоединительными размерами, а также разрез многослойной ПП с указанием порядка следования и количества слоев и межслойных диэлектрических прокладок, на последующих листах – рисунки отдельных проводящих слоев.

Возможно выполнение отдельных слоев многослойной ПП в виде отдельных чертежей аналогично чертежам односторонних ПП.

На чертеже ПП наносят координатную сетку линиями толщиной 0,2–0,5 мм в соответствии с выбранным шагом и масштабом. Линии координатной сетки относительно нулевой координаты нумеруются через один или несколько (но не более пяти) шагов цифрами. Допускается простановка номеров линий по четырем сторонам чертежа печатной платы.

На чертеже ПП допускается приводить дополнительные виды с частичным изображением рисунка.

Чертежи печатных плат выполняют, как правило, в масштабах 1:1, 2:1, 4:1, 5:1, 10:1.

Размеры на ПП наносятся одним из следующих способов:

- 1) в соответствии с ГОСТ 2.417-91;
- 2) нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат (линии сетки нумеруются);
- 3) нанесением координатной сетки в полярной системе координат;
- 4) комбинированным способом с помощью размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат.

Шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат равен (по ГОСТ 10317-79) 2,5 мм, дополнительный шаг – 1,25 или 0,5 мм.

За нуль в прямоугольной системе координат на главном виде печатной платы следует принимать:

- центр крайнего левого нижнего отверстия, находящегося на поле платы, в том числе технологического;
- левый нижний угол печатной платы;
- левую нижнюю точку, образованную линиями построения.

При необходимости указывают границы участков платы, которые не допускается занимать проводниками, при этом на чертеже следует применить *штрихпунктирную линию*.

Проводники на чертеже должны изображаться одной линией, являющейся осью симметрии проводника. Проводники шириной более 2,5 мм могут изображаться двумя линиями, при этом если они совпадают с линиями координатной сетки, то численное значение ширины не указывается.

Круглые отверстия, имеющие зенковку, и круглые контактные площадки с круглыми отверстиями следует изображать одной окружностью. Их форму и размеры оговаривают на поле чертежа в ТТ.

Круглые контактные площадки и контактные площадки произвольной формы, не обозначенные размерами, тоже изображаются на чертеже окружностью.

Для простановки размеров контактной площадки под многовыводные и поверхностно монтируемые элементы контактную группу в увеличенном масштабе выносят на поле чертежа.

Размер отверстия на чертеже печатной платы обозначают условно. Размер отверстия в миллиметрах, наличие металлизации, его условное обозначение и количество представляют в виде таблицы на поле чертежа, Проводники, имеющие заданную ширину, показывают на чертеже. Если такой проводник имеет по длине переменную ширину, то ее указывают на каждом участке.

При наличии на чертеже печатной платы двух и более проводников, имеющих заданную ширину, допускается их изображение выполнять штриховкой, зачернением.

При необходимости форму и размеры вырезов на широких проводниках и экранах показывают на чертеже.

Маркировку печатной платы располагают на чертеже с одной или двух сторон. Размер шрифта и способ маркировки указывают в технических требованиях чертежа.

На чертежи *обязательно* наносится *следующая маркировка*: обозначение ПП или ее условный шифр; дата изготовления; буквенно-цифровое обозначение слоев многослойных ПП; порядковый номер изменения чертежа.

Комплектность КД на ПП и требования по их выполнению при автоматизированном проектировании устанавливает ГОСТ 2.123-83.

При изготовлении *чертежей сложных насыщенных печатных плат* рекомендуется размещать на отдельных листах трассировку печатных проводников, маркировку, конфигурацию защитных масок и т. п. Чертежи слоев многослойных печатных плат также помещают на отдельных листах.

Рекомендуемый состав и последовательность записи *технических требований* чертежа:

- размеры для справок;
- «печатную плату изготовить...» (метод изготовления указывается только в случае невозможности изготовления другим методом);
- «печатная плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости...; шаг координатной сетки... мм»;
- сведения об элементах рисунка печатной платы, не указанные в чертеже. Параметры элементов рисунка рекомендуется группировать в виде таблицы и размещать ее на свободном поле чертежа. В таблице можно указывать минимально допустимые значения элементов проводящего рисунка (ширины печатного проводника, диаметра контактной площадки и др.). Расположение отверстий допускается обозначать координатным способом;
- покрытие... (указывают только конструктивное покрытие. Обозначение покрытия записывается по ГОСТ 9.306-85);
- масса покрытия (указывают только для драгоценных металлов);
- «маркировать... шрифт... по...»;
- дополнительные указания.

Для печатных плат, имеющих одинаковые технические требования, допускается технические требования чертежа выполнять отдельным документом.

Двухсторонняя ПП должна содержать следующие технические требования:

1\* Размеры для справок.

2 ПП изготовить комбинированным позитивным методом.

3 ПП должна соответствовать ГОСТ 23752-86, группа жесткости 2.

4 Класс точности 3 по ГОСТ 23751-86.

5 Шаг координатной сетки 1,25 мм, ГОСТ 2.417-91.

6 Форма контактных площадок произвольная.

7 Допускаемые отклонения очертаний проводников, контактных площадок от заданных чертежом  $\pm 0,1$  мм.

8 Покрытие: Хим.М.М 24 О-С (64) 10-12 опл. Покрытие концевых печатных контактов Ср-Су (99,4) 6 на размер В с двух сторон платы.

9 Маркировать краской маркировочной МКЭЧ, черный, дату изготовления. Шрифт 3-Пр3 по СТБ 992-95.

10 Маркировать травлением, шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95, в узких местах – шрифт 2,0-Пр3:

а) позиционные обозначения;

б) знаки вспомогательной маркировки. Толщина линий 0,3 мм.

11 Допускается смещение маркировки в места, удобные для чтения.

12 Предельные отклонения расстояний между осями двух любых концевых печатных контактов  $\pm 0,1$  мм.

13 Неуказанные предельные отклонения размеров  $\pm IT 14/2$ .

При проектировании печатных плат под технологию поверхностного монтажа рекомендации по заполнению ТТ несколько отличаются, например для односторонней платы:

1 \*Размер для справок.

2 Плату изготовить фотохимическим методом.

3 Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-86, группа жесткости 2.

4 Предельные отклонения на размеры и расположение элементов конструкции по 3 классу точности ГОСТ 23751-86 обеспечиваются инструментом.

5 Не указанные предельные отклонения размеров: H14, h14,  $\pm IT 12/2$ .

6 Следы перфорации по контуру платы не допускаются.

7 Размеры и количество контактных площадок см. таблицу ... отверстий – таблицу ..., лист ... .

8 Печатный монтаж, прямая и обратная маркировки и маска должны соответствовать утвержденным фотошаблонам см. листы ..., ..., ..., ... .

9 Сопротивление изоляции измерять между точками ... и ... (см. лист ...).

10 Плата предназначена для автоматизированной установки ЭРЭ.

11 Допускается разрыв подрезанных контактных площадок в 10 местах.

12 Нанести паяльную маску зеленую Fotochem FSR 8000-8G фирма UNION SOLTEK GROUP (Тайвань).

13 Маркировать маской белой фотопроявляемой Fotochem FSR 8000-11W фирма UNION SOLTEK GROUP (Тайвань), шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95, в узких местах – шрифт 2,0-Пр3:

а) позиционные обозначения;

б) знаки вспомогательной маркировки. Толщина линий 0,3 мм.

14 Допускается смещение маркировки в места, удобные для чтения.

15 Максимальный прогиб платы относительно диагонали не более 3 мм.

16 В зоне К допускаются следы технологических отверстий.

Пример выполнения чертежа печатной платы приведен в приложении Н.

## 4.6 Правила оформления сборочных чертежей

Одним из важнейших видов конструкторской документации является сборочный чертеж. Согласно ГОСТ 2.109-73 (переиздание – март 2001 г. с изменениями № 1–10) сборочный чертеж содержит: изображение сборочной единицы с минимальным, но достаточным количеством видов, разрезов и сечений, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления ее сборки (изготовления), контроля и т. п. Для полного удовлетворения этих требований, согласно ГОСТ 2.102–68, необходимо выполнять кроме сборочного, габаритный, монтажный и другие чертежи. Однако в курсовых проектах с целью уменьшения объема графических работ эти чертежи рекомендуется совмещать на одном сборочном чертеже.

Независимо от типа производства (единичное, серийное, массовое) конструкция изделия должна состоять из отдельных четко разграниченных сборочных единиц, обеспечивать параллельность и независимость сборки, а также простоту связей.

Число деталей собираемого изделия (сборочной единицы) должно быть минимальным. Сложные изделия, состоящие из большого числа деталей, рекомендуется конструировать по блочному (агрегатному) принципу.

При проектировании следует стремиться к уменьшению числа крепежных деталей. Вместо резьбового крепежа целесообразно применять сварку, расклепку, развальцовку, также следует избегать применения соединений, которые трудно выполнить: например, шпоночные, с пружинами и другие. Крупногабаритные и тяжелые детали должны иметь специальные элементы для установки (отверстия, приливы и т. д.) и фиксации.

Детали, входящие в сборочные единицы, должны иметь простую форму, в противном случае необходимо, чтобы они имели явно выраженные базовые поверхности.

Шероховатость сопрягаемых поверхностей деталей должна быть обоснована. Детали, сопрягаемые в осевом направлении по кромкам поверхностей, должны иметь конструктивные элементы, облегчающие самоустановку и самоцентрирование поверхностей. Допуски на размеры деталей должны обеспечивать возможность осуществления сборки методом полной или частичной взаимозаменяемости. Необходимо также предусматривать средства, предотвращающие проворачивание болтов при затяжке.

Следует избегать или сводить к минимуму совместную механическую обработку деталей (в сборе), включая сверление и выполнение резьбы, так как это снижает производительность и нарушает основной принцип поточной сборки – взаимозаменяемость сборочных единиц и деталей.

При проектировании сборок необходимо учитывать класс исполнения по условиям эксплуатации.



Соединения деталей в сборочных единицах могут выполняться различными способами: сваркой, пайкой, склеиванием, заклепками, резьбовыми соединениями и т. д.

Резьбовые детали, с помощью которых выполняют соединения, называют крепежными. К ним относят болты, винты, шпильки и гайки. При соединении деталей под гайки необходимо подкладывать шайбы, а для исключения самоотвинчивания крепежных деталей при ударах и вибрациях – пружинные шайбы. Если соединяются неметаллические детали, то со стороны головки крепежного изделия и гайки необходимо устанавливать шайбы.

*Сборочный чертеж изделия должен содержать:*

1) изображение сборочной единицы, позволяющее осуществить ее сборку и контроль;

2) размеры с указанием предельных отклонений (и другие параметры и требования), которые проверяются при сборке;

3) сопряженные размеры с обозначением посадок (в местах установки на валы и в корпус зубчатых и червячных колес, подшипников, втулок и т. д.);

4) основные размеры, характеризующие изделие и его основные составные части (например, для редуктора: межосевое расстояние с допускаемыми отклонениями; направление линии, угла наклона и число зубьев);

5) номера позиций составных частей, входящих в изделие;

6) основные технические характеристики изделия;

7) габаритные, установочные и присоединительные размеры, а также необходимые справочные размеры;

8) технические требования к готовому изделию.

*Габаритными* называются размеры, определяющие предельные внешние или внутренние очертания изделия. *Установочными* и *присоединительными* называются размеры, определяющие величины элементов, по которым данное изделие устанавливают на месте монтажа или присоединяют к другому изделию. К *справочным*, согласно ГОСТ 2.307-68, относят следующие размеры:

1) один из размеров замкнутой цепи;

2) размеры, перенесенные с чертежей изделий заготовок;

3) размеры на сборочном чертеже, по которым определяют предельные положения отдельных элементов конструкции, например, ход поршня;

4) габаритные размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей или являющиеся суммой размеров нескольких деталей;

5) размеры деталей (элементов) из сортового, фасонного, листового и другого проката, если они полностью определяются обозначением материала, приведенным в графе основной надписи;

6) размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей и используемые в качестве установочных и присоединительных (с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями).

Сборочный чертеж изделия рекомендуется выполнять в масштабе 1:1 на одном или нескольких листах формата А1 (в зависимости от размеров и сложности изделия могут быть использованы другие масштабы и форматы листов).

На сборочном чертеже необходимо указывать в соответствии со спецификацией номера позиций всех составных частей сборочной единицы. Эти номера указывают на основных видах и разрезах и помещают на полках линий-выносок, проводимых от видимых изображений составных частей и заканчиваемых точкой, причем выноски и полки проводят тонкими линиями. У зачерненных или узких площадей точку заменяют стрелкой. Номера позиций следует располагать параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группировать их в колонку или строчку по возможности на одной линии.

Номера позиций наносят на чертеж *один раз*. Шрифт номеров позиций должен быть на один-два размера больше, чем шрифт размерных чисел данного чертежа.

Общая линия-выноска с вертикальным расположением позиций допускается:

- для группы крепежных деталей, расположенных в одном месте;
- для группы деталей с отчетливо выраженной взаимосвязью;
- при невозможности подвести выноску к каждой составной части.

Линию-выноску в этих случаях отводят от изображения составной части, номер позиции которой указан первым.

Изображение на чертеже может быть упрощенным в соответствии с ГОСТ 2.109-73. В частности, допускается:

- не показывать выступы, рифления, насечки, оплетки и другие мелкие элементы, маркировочные и технологические данные;
- сварной узел изображать как монолитное тело;
- шестигранные и квадратные головки гаек и винтов изображать упрощенно;
- крепежные детали (винты, болты, шпильки, гайки, шайбы, закладки и т. п.), шпонки, сплошные валы, зубья и спицы колес и маховиков условно показывать нерассеченными, если секущая плоскость направлена вдоль оси такой детали;
- если вал имеет углубления, шпоночные пазы, центровые отверстия, то для изображения этих элементов следует применять местные разрезы;
- шарики подшипников качения показывать нерассеченными;
- ребра жесткости и тонкие стенки показывать рассеченными, но без штриховки;
- пластины, а также элементы деталей (отверстия, фаски, пазы, углубления и т. п.) размером 2 мм и менее изображать с отступлением от масштаба, принятого для всего изображения, в сторону увеличения.

Перемещающиеся части изделия изображают в крайнем или промежуточном положении только штрихпунктирными линиями с двумя точками с размерами, характеризующими эти положения. Перемещающиеся части допускается изображать на дополнительных видах с соответствующими надписями, например: *Крайнее положение шатуна поз. 5*.

На сборочном чертеже устройства допускается помещать изображение пограничных (соседних) изделий – «обстановку» и размеры, определяющие их взаимное расположение. Предметы «обстановки», как правило, выполняются

упрощенно и приводятся для определения места изделия. Составные части изделия, расположенные за «обстановкой», изображают как видимые.

В технических требованиях к сборочным чертежам в обоснованных случаях следует указать: *Остальные технические требования по СТБ 1022-96.* Данный стандарт содержит общие требования, требования к подвижным и неподвижным соединениям, методы испытаний и правила приемки. В документе указано, что неподвижные соединения не должны иметь качки, проворачивания; резьбовые соединения затянуты, а резьба должна быть без краски; шлицы, грани не сорваны и не смяты; подвижные части должны перемещаться без рывков, заеданий, плавно, шум должен быть однотонным, стопорные устройства должны фиксировать требуемое положение; испытания изделий необходимо проводить в нормальных условиях. Требования, отличные от требований стандарта, в том числе и требования о маркировке, упаковке, транспортировке и хранении, надо оговаривать в технических требованиях к сборочным чертежам специальными пунктами.

#### 4.6.1 Оформление сборочного чертежа печатного узла

Сборочный чертеж печатного узла должен давать полное представление о характере расположения навесных элементов и способе их установки на платы. Способы установки в соответствии с нормативно-технической документацией (ГОСТ 29137-91, стандарты предприятий, рекомендуемые документы и т. п.) приводятся в технических требованиях, а для элементов, отсутствующих в ней, – отдельными видами на поле чертежа.

Например, ГОСТ 29137-91 содержит общие требования и нормы конструирования по формовке выводов и установке изделий электронной техники на печатные платы. В данном ГОСТе для обозначения варианта формовки выводов и установки ИЭТ на печатные платы принята следующая структура условных обозначений:



Данные для условного обозначения формовки ИЭТ приведены в таблице 4.4. Пример условного обозначения варианта формовки выводов и установки резистора, соответствующего исполнению 14 с длиной корпуса 10,8 мм при использовании зиг-замка:

*140.02.0203.00.02.*

Пример записи вариантов формовки выводов и установки ИЭТ, имеющих согласно спецификации позиции 3, 7, 9:

*Установку ЭРЭ производить по ГОСТ 29137-91:*

*поз. 3 – вариант 071.04.0602.12.00,*

*поз. 7 – вариант 140.02.0203.00.02,*

поз. 9 – вариант 301.14.0000.00.00.

Предельные отклонения размеров между осями двух любых выводов ИЭТ, устанавливаемых в монтажные отверстия, –  $\pm 0,2$  мм, а на контактные площадки –  $\pm 0,1$  мм.

Таблица 4.4 – Варианты типовых конструктивных исполнений формовки ИЭТ

Типовое конструктивное исполнение	Обозначение варианта формовки и установки	Номер чертежа	Шифр позиции ИЭТ	Характеристика ИЭТ
	010	2	0201 – 0221	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	011		0301 – 0341	
	140	2	0201 – 0221 0301 – 0341	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	190	–	–	Транзисторы в прямоугольных и цилиндрических корпусах с тремя – однонаправленными выводами
	220	3	0401 – 0407	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	320	–	–	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 1 по ГОСТ 17467
	330	–	–	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 2 по ГОСТ 17467
	360	18	1101 - 1113	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 4 по ГОСТ 17467

Установочные размеры для ИЭТ, устанавливаемых в отверстия печатных плат, следует выбирать кратными шагу координатной сетки – 2,5 мм или 1,25 мм в соответствии с ГОСТ 10317.

В местах крепления установочных деталей (стоек, втулок, скоб) делают местные разрезы. На чертеже приводят также маркировку позиционных обозначений ИЭТ, условные обозначения выводов трансформаторов и реле, нуме-

рацию выходных контактов, полярности элементов согласно принципиальной электрической схеме, а также указывают характер стопорения резьбовых соединений, например, по ГОСТ 30133-95 вид 27, красный; высота радиоэлементов над печатными платами), габаритные, установочные, присоединительные и другие справочные размеры, например обозначения резьб и т. д.

***Типовые технические требования к сборочным чертежам изделий РЭС, содержащим печатный и объемный монтаж:***

- 1 \*Размеры для справок.
- 2 Обработанные поверхности покрыть лаком НЦ-132 ГОСТ 6631-74.
- 3 Трущиеся поверхности смазать смазкой ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267-74.
- 4 Электромонтаж выполнить проводом поз. 16 по схеме электрической принципиальной ГУИР. 423132.001 ЭЗ.
- 5 ПОС-61 ГОСТ 21931-76.
- 6 Провода, идущие в одном направлении, вязать в жгуты нитками поз. 25, крепить скобками поз. 15.
- 7 Поверхность контакта транзистора поз. 19 с радиатором поз. 10 покрыть пастой КПТ-8 ГОСТ1978-81.
- 8 Клей ВК-9 ОСТ 92-0948.
- 9 ЭРЭ маркировать по ГОСТ 23594-79 в местах, удобных для чтения, краской ТНПФ-53 черной на светлой поверхности и краской ТНПФ-851 белой на темной поверхности. Шрифт 3-Пр41 по СТБ 992-95.
- 10 Места для клеймения заполнить мастикой № 2 ГОСТ 18680-73.
- 11 Технические требования к конструкциям разделки и соединения экранов проводов по ГОСТ 23586-79.
- 12 Технические требования на жгут по ГОСТ 23586-79.
- 13 Технические требования к разделке монтажных проводов и крепления жил по ГОСТ 23587-79.
- 14 Технические требования к электромонтажу приборных частей соединителей по ГОСТ 23591-79.
- 15 Технические требования к монтажу ЭРЭ по ГОСТ 23592-96.
- 16 Остальные технические требования по СТБ 1022-96.

***Типовые технические требования для сборочных чертежей печатных узлов:***

- 1 \*Размеры для справок.
- 2 \*\*Размеры для формовки выводов ЭРЭ обеспечиваются инструментом.
- 3 \*\*\*Подбирается при регулировании.
- 4 Установку элементов производить по ГОСТ 29137-91.
- 5 Шаг координатной сетки 2,5 мм. Элементы ... установить по варианту...; установку остальных элементов см. на поле чертежа.
- 6 Позиционные обозначения элементов показаны условно.
- 7 Технические требования к монтажу ЭРЭ по ГОСТ 23592-96.
- 8 Технические требования к конструкциям разделки проводов и крепления их жил – ГОСТ 23587-79.

- 9 ПОС 61 ГОСТ 21931-76.
- 10 ПОСК 50-18 ГОСТ 21931-76 для... .
- 11 ПСр. 2,5 ГОСТ 19746-74 для... .
- 12 Пайку транзисторов производить при закороченных выводах паяльником с напряжением 6–12 В, мощностью не более 60 Вт в течение не более 3 с.
- 13 Поверхности соприкосновения транзисторов поз. ... смазать полиметилметакрилатом жидкостью ПМС-1000 ГОСТ 13032-77.
- 14 На выводы транзисторов поз. ... надеть трубки поз. ... .
- 15 При пайке, промывке и лакировке недопустимо попадание флюса, припоя, спирта и лака на корпуса элементов.
- 16 Клей ЭЛ-19 ОСТ 4Г0.029.204.
- 17 Клей ТК-200 ТУ 6-01-1241-80 для ... .
- 18 Клей К-400 ОСТ 4Г0.029.204 для ... .
- 19 Клей ГИПК-231 ТУ 6-05-251-96-79.
- 20 Стопорить по ГОСТ 30133-95 поз. ... вид ... .
- 21 Стопорение сердечников катушек после регулировки церезином синтетическим М 100 ГОСТ 7658-74 для ... .
- 22 Покрытие – жидкость гидрофобизирующая 136-41 ГОСТ 10834-76, кроме поверхностей ... .
- 23 Маркировать и клеймить краской ТНПФ-1851 белой. Шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95.
- 24 Остальные технические требования по СТБ 1022-96.

***Пример оформления технических требований для печатного узла, изготовленного с применением технологии поверхностного монтажа:***

- 1 \*Размеры для справок.
- 2 Позиционные обозначения элементов показаны условно.
- 3 Центры симметрии поверхностно-монтируемых элементов установлены в узлах координатной сетки. Предельные отклонения размеров между центрами элементов при установке не более 0,15 мм.
- 4 Координаты установки поверхностно-монтируемых элементов (таблица ...).
- 5 Поверхностно-монтируемые элементы устанавливать на клей SMD ADHESIVE «Heraeus» PD 860002 S с последующей пайкой волной припоя.
- 6 Элементы, обозначенные знаком «\*\*», устанавливать по вариантам исполнений.
- 7 ПОС-63 ГОСТ 21931-76.
- 8 При работе с полупроводниковыми приборами обеспечить их защиту от статического электричества в соответствии с ОСТ 11.073.062-84.
- 9 Остальные ТТ по СТБ 1022-96.

Пример выполнения сборочного чертежа печатного узла приведен в приложении П.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы / В. Л. Соломахо [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1988.
- 2 Арзамасов, Б. Н. Материаловедение : учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 648 с.
- 3 Пасынков, В. В. Материалы электронной техники : учеб. для вузов / В. В. Пасынков, В. О. Сорокин. – М. : Лань, 2005. – 368 с.
- 4 Антипов, Б. Л. Материалы электронной техники : задачи и вопросы / Б. Л. Антипов, В. С. Сорокин, В. А. Терехов. – М. : Лань, 2003. – 208 с.
- 5 Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов / В. Л. Соломахо [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.
- 6 Справочник конструктора точного приборостроения / К. Н. Явленский [и др.] ; под общ. ред. К. Н. Явленского. – Л. : Машиностроение, 1989.
- 7 Ненашев, А. П. Конструирование радиоэлектронных средств : учеб. для радиотехнич. спец. вузов / А. П. Ненашев. – М. : Высш. шк., 1990.
- 8 Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : учеб. для вузов / С. М. Боровиков. – Минск : Дизайн ПРО, 1998.
- 9 Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : сб. задач / С. М. Боровиков, А. В. Погребняков. – Минск : БГУИР, 2001.
- 10 Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие к курсовому проектированию по дисц. «Теоретические основы проектирования и надежности РЭС» спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» и «Теоретические основы конструирования, технологии и надежности», спец. «Проектирование и производство РЭС» / С. М. Боровиков [и др. ] ; под ред. С. М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2009.
- 11 Конструирование радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. спец. «Конструирование и технология РЭС» / Н. С. Образцов [и др.] ; под ред. Н. С. Образцова. – Минск : БГУИР, 1994.
- 12 Роткоп, Л.Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный. – М. : Сов. радио, 1976. – 232 с.
- 13 Разработка и оформление конструкторской документации РЭС : справочник / Э. Т. Романычева [и др.]. – М. : Радио и связь, 1989.
- 14 Единая система конструкторской документации : справочное пособие / С. С. Борушек [и др.]. – М. : Издательство стандартов, 1989.
- 15 Основы конструирования радиоэлектроники / Ж. С. Воробьева [и др.]. – Минск : БГУИР, 2001.
- 16 Джамп, Д. AutoCAD. Программирование / Д. Джамп ; пер. с англ. С. С. Богданова ; под ред. А. С. Богданова. – М. : Радио и связь, 1992.
- 17 Pro/ENGINEER. Руководство по обучению основам конструирования. – USA : Parametric Technology Corporation. – 1996.

18 Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – М. : «СОЛОН-Р», 2001.

19 Федоренков, А. AutoCAD 2002 : практический курс / А. Федоренков, А. Кимаев. – М. : «ДЕСС КОМ», 2002.

20 Прохоренко, В. П. Solid Works 2005 : практ. руководство / В. П. Прохоренко. – М. : БИНОМ, 2005. – 512 с.

21 Мартынов, Н. Н. MATLAB 5.X. Вычисления, визуализация, программирование / Н. Н. Мартынов, А. П. Иванов. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.

22 Бондарик, В. М. Системы автоматизированного проектирования : лаб. практ. для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» днев. формы обуч. В 3 ч. Ч. 1 : Проектирование печатных плат в PCAD 2001 / В. М. Бондарик, А. М. Криштапович. – Минск : БГУИР, 2004. – 63 с.

23 Системы автоматизированного проектирования : лаб. практ. для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» днев. и заоч. форм обуч. В 3 ч. Ч. 2 : Проектирование электронной аппаратуры в AutoCAD / В. М. Бондарик [и др.]. – Минск : БГУИР, 2005. – 53 с.

24 Станкевич, А. В. САПР P-CAD 2001 : лаб. практ. по курсу «Прикладные пакеты систем автоматизированного проектирования проблемно-ориентированных электронных вычислительных средств» для студ. спец. 40 02 02 «Электронные вычислительные средства» днев. формы обуч. / А. В. Станкевич, Д. С. Лихачев. – Минск : БГУИР, 2004. – 55 с.

25 Шимкевич, А. А. Проектирование несущих конструкций электронных устройств : учеб. пособие / А. А. Шимкевич. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2003. – 308 с.

26 Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры : учеб. / И. П. Бушминский [и др.] ; под ред. А. П. Достанко, Ш. М. Чабдарова. – М. : Радио и связь, 1989. – 264 с.

27 Достанко, А. П. Технология производства ЭВМ : учеб. / А. П. Достанко, М. И. Пикуль, А. А. Хмыль. – Минск : Выш. шк., 1994. – 347 с.

28 Технология поверхностного монтажа: учеб. пособие / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : «Армита – Маркетинг, Менеджмент», 2000. – 350 с.

29 Сборочно-монтажные процессы : метод. пособие к практ. занятиям по дисц. «Конструирование и технология электронных систем», «Технология РЭУ», «Технология РЭС», «Технология средств медицинской электроники» для студ. спец. 36-04-01 «Электронно-оптические системы и технологии», 39-02-01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС», 39-02-02 «Проектирование и производство РЭС», 39 02 03 «Медицинская электроника» / В. Л. Ланин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2008.

30 Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства : учебник / А. П. Достанко [и др.] ; под общ. ред. А. П. Достанко. – Минск : Выш. школа, 2002. – 415 с.

31 Проектирование и производство РЭС. Дипломное проектирование : учеб. пособие / А. П. Достанко [и др.]. – Минск : БГУИР, 2006. – 219 с.



- 32 Медведев, А. М. Сборка и монтаж электронных устройств / А. М. Медведев. – М. : Техносфера, 2007. – 256 с.
- 33 Сайт компании «Остек». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ostek-smt.ru>.
- 34 Кундас, С. П. Разработка и оформление технологической документации на процессы производства РЭС и ЭВС : метод. указания. В 2 ч. / С. П. Кундас, В. В. Боженков, Г. М. Шахлевич. – Минск : МРТИ, 1991. – Ч. 1. – 76 с. ; Ч. 2 – 86 с.
- 35 ГОСТ 29137-91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования.
- 36 ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкций.
- 37 ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.
- 38 ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
- 39 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
- 40 ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.
- 41 ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
- 42 ГОСТ 7.12-93. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.
- 43 ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- 44 ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления.
- 45 ГОСТ 7.83-2001. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения.
- 46 СТБ 992-95. Шрифты для надписей, наносимых на изделия машиностроения. Начертания и размеры.
- 47 СТБ 1014-95. Изделия машиностроения. Детали. Общие технические условия.
- 48 СТБ 1022-96. Изделия машиностроения. Сборочные единицы. Общие технические условия.
- 49 СТП01–2010. Дипломные проекты (работы). Общие требования. – Минск : БГУИР, 2011. – 170 с.
- 50 Положение об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР № 03-2010/03-0003. – Минск : БГУИР, 2010. – 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
(обязательное)

**Пример оформления задания на курсовое проектирование**

**Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ЭТТ

\_\_\_\_\_ ( А. П. Достанко)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 200\_\_ года

**З А Д А Н И Е**

**по курсовому проектированию**

Студенту гр. 411101 Душевину А.А.

**1. Тема проекта:** Разработать конструкцию и технологический процесс сборки и монтажа электронного средства «Синтезатор частоты»

*(указать название)*

**2. Сроки сдачи студентом законченного проекта:** 08.05.2010

**3. Исходные данные к проекту**

- 3.1. Назначение изделия.
- 3.2. Схема электрическая принципиальная.
- 3.3. Электрические параметры: потребляемая мощность – 10 ВА, напряжение питания – 220 В.
- 3.4. Условия эксплуатации по ГОСТ 16019 2001, группа С1, требования к климатическим условиям по ГОСТ 15150-69 УХЛ 2.1.
- 3.5. Конструкторские требования:
  - 3.5.1. Габаритные размеры, не более 385×185×80 мм.
  - 3.5.2. Коэффициент заполнения по объему, не менее  $K_3 = 0,5$ .
  - 3.5.3. Масса изделия, не более 1,5 кг.
- 3.6. Требования к надежности по ГОСТ 27.003-90.
- 3.7. Годовая программа выпуска 10 000 шт.

**4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):**

Введение.

- 4.1. Техническое задание.
- 4.2. Анализ исходных данных и основные технические требования к разрабатываемой конструкции.
- 4.3. Выбор и обоснование элементной базы, унифицированных узлов, установочных изделий и материалов конструкции.
- 4.4. Выбор и обоснование компоновочной схемы, методов и принципа конструирования.
- 4.5. Выбор способов и средств теплозащиты, герметизации, виброзащиты и экранирования.
- 4.6. Расчет конструктивных параметров изделия:
  - 4.6.1. Компоновочный расчет.
  - 4.6.2. Расчет теплового режима.

## Продолжение приложения А

4.6.3. Расчет конструктивно-технологических параметров печатных плат. Выбор и обоснование методов изготовления печатных плат.

4.6.4. Расчет механической прочности и системы виброударной защиты.

4.6.5. Полный расчет надежности.

4.7. Обоснование выбора средств автоматизированного проектирования.

4.8. Разработка ТП сборки и монтажа изделия.

4.8.1. Анализ технологичности конструкции.

4.8.2. Разработка технологической схемы сборки.

4.8.3. Разработка вариантов маршрутной технологии и выбор оптимального варианта.

4.8.4. Проектирование операционного технологического процесса.

Заключение.

Литература.

Приложения.

**5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей и графиков):**

5.1. Схема электрическая принципиальная (1 лист формата А1 или А2).

5.2. Схема электрическая структурная (1 лист формата А2).

5.3. Сборочный чертеж изделия (1 лист формата А1).

5.4. Чертежи сборочных единиц (1 лист формата А1).

5.5. Технологическая схема сборки (1 лист формата А3).

5.6. Комплект технологических документов.

**6. Консультанты по проекту (с указанием разделов):**

разделы 4.1 – 4.6 – Петров И.И;

разделы 4.7 – 4.8 – Викторов П.П.

**7. Дата выдачи задания:** 29.01.2010.

**8. Календарный график работы над проектом на весь период проектирования (с указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов):**

8.1. Разделы 4.2 – 4.4, 5.1, 5.2 – 15.03.2010.

8.2. Разделы 4.5, 4.6, 5.3, 5.4 – 15.04.2010.

8.3. Разделы 4.7 – 4.9, 5.5 – 5.6 – 30.04.2010.

8.4. Сдача на проверку: 08.05.2010.

8.5. Защита проекта: 11.05.2010.

Руководитель \_\_\_\_\_ Петров И.И.

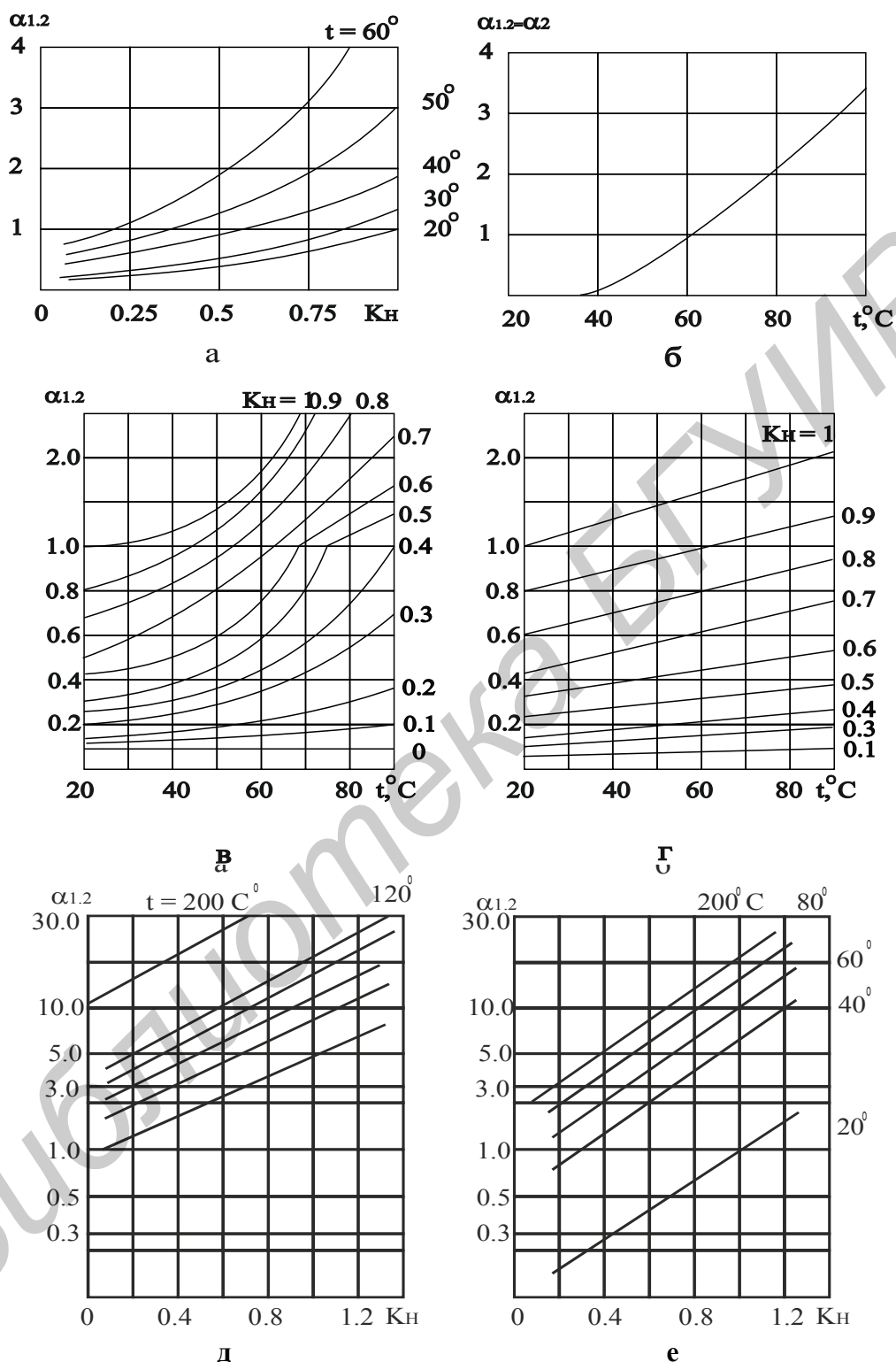
(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

(дата и подпись студента)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

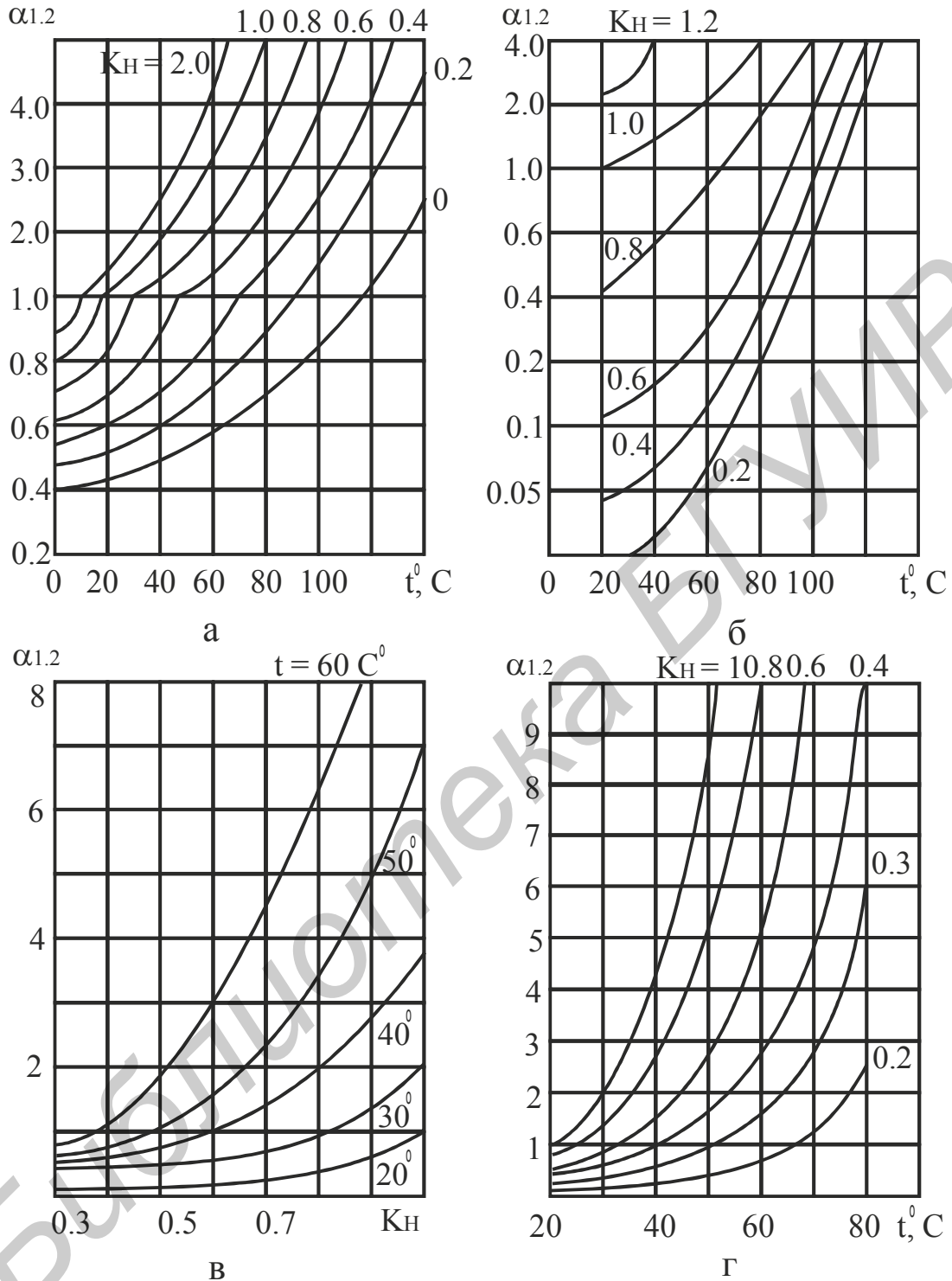
### Данные к расчету поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$



а – для контактных элементов (разъемы, реле, переключателей и т. п.); б – для соединений пайкой; в – для резисторов типов С2-23; г – для переменных проволочных резисторов; д – для полупроводниковых цифровых ИМС; е – для полупроводниковых линейно-импульсных интегральных микросхем

Рисунок Б. 1 – Обобщенные зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1,2}$  от температуры и коэффициента нагрузки

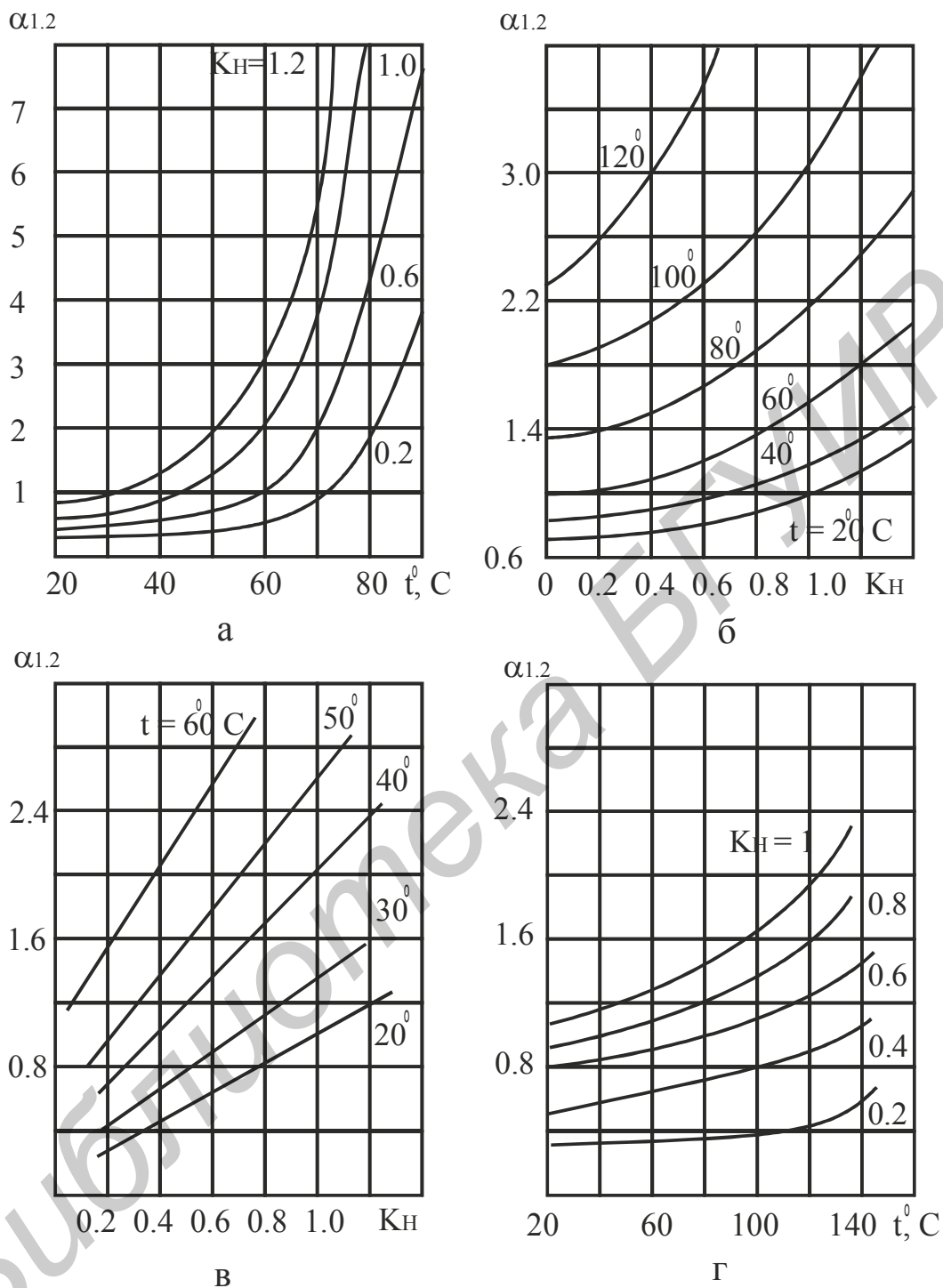
Продолжение приложения Б



а – для резисторов; б – для неполярных конденсаторов;  
в – для изделий имеющих обмотки; г – для электролитических конденсаторов

Рисунок Б. 2 – Обобщенные зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1.2}$  от температуры и коэффициента нагрузки

Продолжение приложения Б



а – для германиевых диодов; б – для кремниевых диодов;  
в – для германиевых транзисторов; г – для кремниевых транзисторов

Рис. Б. 3 – Обобщенные зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1.2}$  от температуры и коэффициента нагрузки

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Максимальные значения интенсивностей отказов элементов**  
**электронной аппаратуры (для учебных целей) [10]**

Наименование элемента (группа, вид, тип)	Интенсивность отказов $\lambda_0 \times 10^{-6}$ 1/ч
1	2
Полупроводниковые (ПП) цифровые интегральные схемы (ИС) 1-й степени интеграции	0,40
ПП цифровые ИС 2-й степени интеграции	0,45
ПП цифровые ИС 3-й степени интеграции	0,50
ПП цифровые ИС 4-й степени интеграции	0,60
ПП аналоговые ИС 1-й степени интеграции	0,45
ПП аналоговые ИС 2-й степени интеграции	0,55
ПП аналоговые ИС 3-й степени интеграции	0,65
Транзисторы полевые малой мощности	0,30
Транзисторы полевые средней мощности	0,35
Транзисторы полевые большой мощности	0,45
Транзисторы кремниевые малой мощности	0,40
Транзисторы кремниевые средней мощности	0,45
Транзисторы кремниевые большой мощности	0,50
Транзисторы германиевые малой мощности	0,45
Транзисторы германиевые средней мощности	0,55
Транзисторы германиевые большой мощности	0,65
Транзисторы маломощные в ключевом режиме	0,40
Транзисторы большой и средней мощности в ключевом режиме	0,60
Диоды высокочастотные кремниевые	0,20
Диоды высокочастотные германиевые	0,30
Диоды импульсные в ключевом режиме	0,15
Диоды выпрямительные маломощные, $I_{\text{ср. выпр}} < 300 \text{ мА}$	0,20
Диоды выпрямительные средней мощности, $I_{\text{ср. выпр}} = 0,3..10 \text{ А}$	0,50
Диоды-столбы высоковольтные выпрямительные	0,80
Блоки (мосты) выпрямительные кремниевые, $I_{\text{ср. выпр}} < 400 \text{ мА}$	0,40
Блоки (мосты) выпрямительные германиевые, $I_{\text{ср. выпр}} > 400 \text{ мА}$	1,10
Стабилитроны маломощные, $P_{\text{max}} < 1 \text{ Вт}$	0,90
Стабилитроны средней мощности $P_{\text{max}} < 5 \text{ Вт}$	1,25
Варикапы	0,20
Светодиоды	0,70
Диоды туннельные и обращенные	0,27
Диоды инфракрасного излучения	0,80
Фотодиоды	0,70
Диоды сверхвысокочастотные	6,00
Оптрон	0,75
Тиристоры маломощные, $I_{\text{ср}} < 2 \text{ А}$	2,20
Тиристоры маломощные, $I_{\text{ср}} < 2..10 \text{ А}$	4,40
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{\text{ном}} < 0,5 \text{ Вт}$ , ток постоянный	0,05
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{\text{ном}} < 0,5 \text{ Вт}$ , ток переменный	0,10
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{\text{ном}} = 1..2 \text{ Вт}$ , ток постоянный	0,08

Продолжение приложения В

1	2
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{\text{ном}} = 1...2$ Вт, ток переменный	0,15
Резисторы постоянные проволочные, $P_{\text{ном}} < 10$ Вт	0,40
Резисторы постоянные проволочные, $P_{\text{ном}} < 50$ Вт	0,80
Резисторы переменные непроволочные	0,50
Резисторы переменные непроволочные, с выключателем	1,30
Резисторы переменные проволочные	1,20
Резисторы переменные проволочные ползункового типа	1,10
Терморезисторы	0,20
Варисторы	0,40
Фоторезисторы	0,50
Конденсаторы слюдяные	0,03
Конденсаторы танталовые	0,02
Конденсаторы керамические	0,05
Конденсаторы бумажные	0,07
Конденсаторы металлобумажные	0,06
Конденсаторы пластиковые	0,07
Конденсаторы нейлоновые	0,01
Конденсаторы электролитические алюминиевые	0,55
Конденсаторы электролитические танталовые	0,25
Индикаторы стрелочные	4,00
Индикаторы цифровые на жидких кристаллах	3,25
Индикаторы цифровые наполненные (серии ИН)	3,50
Индикаторы цифровые вакуумные накальные (серии ИВ)	0,80
Индикаторы цифровые вакуумные люминесцентные (серии ИВ)	2,00
Индикаторы цифробуквенные на основе светодиодов одноразрядные	1,00
Индикаторы цифробуквенные на основе светодиодов многоразрядные	3,00
Индикаторы люминесцентные сигнальные	3,30
Лампочки сигнальные, накаливания	8,00
Лампочки сигнальные, неоновые	10,00
Кинескопы черно-белого изображения	7,50
Кинескопы цветного изображения	9,50
Трубки осциллографические (ЭЛТ)	10,00
Катушки индуктивности, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,30
Катушки индуктивности, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,20
Дроссели, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,30
Дроссели, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,20
Обмотки сетевых трансформаторов, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,75
Обмотки сетевых трансформаторов, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,50
Трансформаторы входные и выходные	0,90
Трансформаторы импульсные	0,13
Трансформаторы высоковольтные	2,50
Реле электромагнитные общего применения	2,50**
Реле электромагнитные миниатюрные	0,60**
Герконы	0,30*
Соединители (разъемы) штепсельные	0,20***
Гнезда, клеммы	0,70*



Продолжение приложения В

1	2
Вилки двухполюсные	0,50
Зажимы	0,01*
Тумблеры, кнопки	0,40**
Переключатели галетные	0,40**
Переключатели малогабаритные	0,30**
Переключатели малогабаритные (П2К) с независимой фиксацией	0,30**
Переключатели малогабаритные (П2К) с зависимой фиксацией	0,37**
Микропереключатели типа МП	0,30*
Штекеры (гнезда) телевизионные	2,12
Лепесток контактный	0,20
Плата (колодка) контактная межблочного монтажа	0,40*
Провод монтажный	0,30****
Кабели (шнуры)	0,60****
Кабели (шнуры) питания	2,00****
Держатели предохранителей	0,20
Предохранители	5,00
Изоляторы	0,50
Шайбы, прокладки изолирующие	0,75
Соединения пайкой, ток постоянный	0,04
Соединения пайкой, ток пульсирующий	0,40
Соединения накруткой	0,02
Платы печатного монтажа	0,20
Линии задержки	0,75
Фильтры пьезокерамические	0,25
Резонаторы кварцевые	0,37
Магнитопроводы ленточные	0,10
Ферритовые элементы	0,01
Электродвигатели асинхронные, сельсины	12,30
Электродвигатели синхронные	0,51
Электродвигатели постоянного тока	13,40
Батареи заряжаемые	2,00
Аккумуляторы	10,30
Датчики электромеханические пассивные	15,00
Конструкции несущие РЭА	3,00
Пружины	2,20
Соединение механической пайкой	0,06
Соединения винтами 3...5 мм	0,001

*Примечания*

1 Значения интенсивностей отказов элементов, помеченные символом, приведены соответственно:

\* – на один контакт при номинальном токе;

\*\* – на одну контактную группу при номинальном токе;

\*\*\* – на один штырек при номинальном токе;

\*\*\*\* – на каждый метр длины при номинальной плотности тока в проводе.

2 При использовании безвыводных компонентов и технологии поверхностного монтажа значения интенсивностей отказов компонентов можно уменьшать примерно на 50 %.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Значения поправочных коэффициентов

**Значение поправочного коэффициента  $\alpha_3$ , учитывающего влияние механических воздействий [8]**

Условия эксплуатации	Значение $\alpha_3$
Лабораторные	1,00
Стационарные	1,07
Полевые	1,07
Корабельные	1,37
Автомобильные	1,46
Железнодорожные	1,57
Самолетные	1,65

**Значение поправочного коэффициента  $\alpha_4$ , учитывающего влияние относительной влажности [10]**

Относительная влажность	Значение $\alpha_4$
60...70 % при $t = 20...40$ °С	1,0
90...98 % при $t = 20...25$ °С	2,0
90...98 % при $t = 30...40$ °С	2,5

**Значение поправочного коэффициента  $\alpha_5$ , учитывающего атмосферное давление (высоту над уровнем моря) [10]**

Высота, км	Значение $\alpha_5$	Высота, км	Значение $\alpha_5$
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

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

**Средние значения случайного времени восстановления  $\tau_j$  элементов  
и функциональных частей электронной аппаратуры (для учебных целей) [10]**

Элемент, функциональная часть РЭУ	$\tau_j$ , ч
Цифровые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,5
Цифровые интегральные микросхемы большой и сверхбольшой степени интеграции	0,5
Аналоговые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,2
Транзисторы большой мощности	0,7
Транзисторы средней и малой мощности	0,8
Резисторы постоянные	0,5
Резисторы переменные	1,2
Конденсаторы неполярные	1,1
Конденсаторы электролитические	0,55
Диоды (кроме выпрямительных)	0,6
Диоды выпрямительные	0,4
Блоки (мосты) выпрямительные	0,3
Стабилитроны	0,5
Переключатели	0,7
Соединители (разъемы)	2,0
Катушки индуктивности	1,3
Трансформаторы	2,2
Дроссели	1,4
Предохранители	0,1
Платы печатного монтажа	3,0
Монтажные провода	0,5
ТЭЗы устройств цифровой обработки информации	0,5
Индикаторные устройства	1,5
Сигнальные и индикаторные лампочки	0,2
Реле	2,6
Тумблеры, кнопки	0,6
Зажимы, гнезда, клеммы	0,8
Шнуры питания	0,3
Пайки	0,5

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Оборудование для сборки и монтажа электронных модулей

Наименование	Тип, условный шифр	Тип ЭРЭ, ИМС	Производительность, шт./час	Габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5
<b>Оборудование для подготовки ЭРЭ с осевыми выводами</b>				
Полуавтомат подготовки резисторов и диодов	ГГ-2420	П-образная формовка резисторов С2 (0,125-1,0, диодов 2Д 503,504)	3000	600×500×800
Полуавтомат формовки выводов ERSA	TP6/PR-B	Зиг-формовка компонентов с осевыми выводами россыпью и из ленты	5000/ 25 000	180×230×210
Полуавтомат формовки выводов ERSA	TP6/V-PR	Зиг-формовка компонентов с осевыми выводами для вертикальной установки	25000	180×230×210
Полуавтомат формовки UNITRA	PK-R-707	ЭРЭ с осевыми выводами и устан. размерами 5–40 мм	5000	480×230×220
Полуавтомат формовки H.Streckfück	C-043	ЭРЭ с осевыми выводами диаметром 2–15мм, длина 6–15 мм, установочный размер 7,5–50 мм	7000	
Устройство формовки выводов	C042S	ЭРЭ с осевыми выводами; установочный размер 7,5–50 мм	2000	
<b>Оборудование для подготовки ЭРЭ с однонаправленными выводами и ИМС</b>				
Полуавтомат подготовки диодов	ДМВМ 2.241.006	Диоды Д223, П-образная формовка в установочный размер 20 мм	4500	900×850×900
Полуавтомат прихватки и обрезки выводов транзисторов	ГГ-2293	МП42, МП416, ГТ309	300	295×215×275
Автомат подготовки транзисторов	2.241.009	Транзисторы КТ 315, установочный размер 2,5 мм	1500	1700×450×1200
Автомат формовки выводов микросхем	ГГ-2629	Корпуса 101 МС 14-1,401,403	1200	900×400×1500
Автомат формовки	А Ф3-1	Транзисторы КТ1-КТ26. Конденсаторы К-10-7В с устан. размером 5–30 мм	6000	800×500×600
Полуавтомат формовки UNITRA	PK-R-042	Конденсаторы КТ1-КТ12, КМ5 с установочным размером 5–30 мм	2000	360×470×400
Полуавтомат подготовки ИМС	ГГ-2125	Корпуса типа 301.12-1;301.8-1	300	335×300×305
Автомат комплексной подготовки микросхем	АКПМ-020	ИМС типа 401.14. Формовка, лужение, напрессовка припоя	900	1650×640×1450

Продолжение приложения Е

1	2	3	4	5
Полуавтомат формовки выводов ИМС	ICM 83	Формовка и обрезка выводов ИМС в корпусе DIP	300–8000	500 × 330 × 550
Устройство формовки выводов	Ziramat P511	ЭРЭ с радиальными выводами; установочный размер 2,5–30 мм	2000	
<b>Установки лужения</b>				
Автомат лужения микросхем	АЛМ-I	ИМС типов 429.42, 402.16, 405.24, 244.46	600	920×700×1500
Автомат лужения ЭРЭ с осевыми выводами	ДМВМ 2.241.003	Резисторы типа С2, конденсаторы МБМ и др.	3500	800×550×1300
<b>Светомонтажные столы</b>				
Стол программной сборки	ТРЕК	ЭРЭ из 80 ячеек на плату 410×410 мм	500–600	2800×2100
Светомонтажный стол Logpoint	6235	ЭРЭ из 120–280 ячеек на плату 280×200 мм	1000	1400×850
Светомонтажный стол	ТС-1400	ИМС из 30 ячеек на плату 410×250 мм	500	1760×600
Светомонтажный стол	550	ЭРЭ из 96–288 ячеек на плату	1600	1400×85
<b>Оборудование для установки ЭРЭ и ИМС</b>				
Полуавтомат	УР-5	ЭРЭ с осевыми выводами: резисторы С2-23 0,125-0,5; диоды Д9, конденсаторы КМ	2500	500×700×500
Полуавтомат	УР-6	ЭРЭ с осевыми выводами	4800	110×730×1370
Полуавтомат	УР-7	Транзисторы типа КТ306	2400	500×500×500
Полуавтомат	УР-10	Резисторы С2-23 0,125-1,0; диоды Д9, ИМС201.14-1	4800	1100×730×1370
Автомат	«Трофей»	ЭРЭ с осевыми выводами	9000	1650×1500×1500
Автомат-секвенсор Universal	6380B radial 8ХТ	Компоненты с радиальными выводами, включая транзисторы, светодиоды, разъемы с шагом 2,5 мм	21 000	–

Продолжение приложения Е

Оборудование для пайки и очистки			
1	2	3	4
Наименование	Характеристика	Скорость конвейера, м/мин	Габаритные размеры, мм
Автомат пайки микросхем АРГИМ	Микросхемы в корпусе 401.14, 50 шт. в кассете, 30 кассет. Производительность – 400 шт./ч	–	1400×850×1020
Автомат сборки плат АСП 902П	Установка и пайка ИМС в корпусе 401.14-3,4 на платы групповым паяльником. Производительность – до 800 шт./ч	–	1380×830×1300
Установка пайки волной УПВ – 903Б	Пайка плат волной припоя с шириной до 300 мм. Механический нагнетатель припоя, пенное флюсование	0,5–3,0	2020×700×1460
Установка пайки Astra-300 Hollis Engineering (США)	Широкая волна припоя (до 400 мм). Воздушный нож для удаления излишков припоя	0,5–5,0	3600×1067×1620
Установка пайки 6TF / 160 Kirsten (Швейцария)	Пайка плат шириной до 160 мм. Электромагнитный нагнетатель припоя. Настольное исполнение	0,3–3,0	2300×680×560
Установка пайки Econopak-229 Electrovert (Канада)	Пайка обычных и чиповых элементов двойной волной припоя шириной до 380 мм. Микропроцессорное управление	0,3–3,0	4267×1700×1910
Установка пайки ETS-250 ERSA	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 250 мм с ИК подогревом в серийном производстве	0,3–3,0	2300×580×560
Установка пайки EWS-400 ERSA	Пайка смешанного монтажа на платах шириной до 400 мм в инертной атмосфере и в крупносерийном производстве	0,3–4,0	–
Линия промывки плат ЛПП-90 1	Групповая 4-стадийная отмывка плат в растворителях. Мощность – 30 кВт	0,1–1,2	3200×900×1400
Линия промывки плат Aquarak	Многостадийная отмывка плат после пайки. Число ванн – 2 – 5	2–6	5000×600×1100
Установка селективной пайки для мелкосерийного производства Select 250	Пайка односторонних, двусторонних и многослойных печатных плат размерами 250×250 мм	2–6	
Установка селективной пайки для мелкосерийного производства Select 460	Пайка односторонних, двусторонних и многослойных печатных плат размерами 460×460 мм	2–6	

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

<b>Оборудование для поверхностного монтажа</b>		
<b>Наименование</b>	<b>Назначение</b>	<b>Технические характеристики</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Установка трафаретной печати Трасса-43025 (НПП «Радуга», Россия)	Ручное нанесение паяльной пасты через металлические шаблоны ракелем	Рабочее поле 200×300 мм. Скорость движения ракеля – 3,8–15,2 мм/с
Полуавтомат трафаретной печати SP-20	Нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме. Ручная загрузка-выгрузка плат	Рабочее поле до 521×470 мм. Скорость движения ракеля – 9,5–12,7 мм/с
Полуавтомат трафаретной печати SPM	Нанесение паяльной пасты в полуавтоматическом режиме. Встроенная система управления, система технического зрения	Рабочее поле до 508×406 мм. Скорость движения ракеля – 6,35–12,7 мм/с
Автомат трафаретной печати Umprint 2000	Нанесение паяльной пасты в автоматическом режиме. Контроль качества	Производительность – до 300 шт./ч. Компоненты – от чипа до микросхемы PLCC
Полуавтомат трафаретной печати ER-SA 248	Обеспечивает высокую точность нанесения паяльной пасты и гибкость в управлении	Рабочее поле – до 500×400 мм. Скорость движения ракеля – 10–70 мм/с
Автомат трафаретной печати INFINITI	Высокая скорость и точность	Рабочее поле – до 510×508 мм. Скорость движения ракеля – 20–150 мм/с
Манипулятор Трасса-4301 (НПП «Радуга», Россия)	Ручная установка компонентов на платы вакуумным пинцетом, перемещаемым по осям x/y/z	Рабочее поле 200×300 мм. Производительность – 600–1000 шт./ч
Манипулятор LM901 (Philips, Нидерланды)	Ручная установка компонентов на платы, автоматическое включение вакуума при захвате	Габариты платы – до 440×245 мм. Производительность – до 1000 шт./ч. Количество типоминиалов – до 1500
Полуавтомат SM902 (Philips, Нидерланды)	Установка компонентов по программе с 2-координатным механизмом наведения головки	Производительность – 1,5–2,4 тыс. шт./ч. Количество типоминиалов – до 32
Установка монтажа SMD ЭВ-8317-2М (Беларусь)	Установка компонентов 0603, 0805, 1206, SOT23, SOD 110	Производительность – 2,0 тыс. шт./ч. Количество типоминиалов – до 40. Габариты 890×980×1350 мм
Полуавтомат ESM96 (Philips, Нидерланды)	Полуавтоматическая установка компонентов на платы. Техническое зрение с двумя камерами	Производительность – до 3500 шт./ч. Питатели – ленты, кассеты, матричные поддоны
Автомат монтажа SMD ЭМ-4425 (Беларусь)	Автоматическая установка компонентов на платы размером до 250×350 мм с одной головкой и техническим зрением	Производительность – до 4500 шт./ч. 64 питателя из ленты. Габариты 700×800×850 мм

Продолжение приложения Ж

1	2	3
Автомат МСМШ (Philips, Нидерланды )	Автоматическая установка компонентов с возможностью гибкой переналадки и управлением от ПЭВМ	Производительность – до 12000 шт./ч. Компоненты – чип, ИМС. Габариты платы – до 450×450 мм
Автомат МТ-D(NM-2501) (Panasonic, Япония)	Автоматическая установка компонентов с шагом до 0,5 мм и возможностью гибкой наладки	Компоненты – от чипа до PLCC 40×40 мм. Производительность до 10000 шт./ч
Автомат HSI80 (Siemens, Германия)	Автоматическая установка компонентов с возможностью гибкой переналадки и управлением от ПЭВМ	Производительность – до 10000 шт./ч. Компоненты – чип, SOT –23, SOT –89. Габариты платы – до 380×210 мм
Установка ИК конвекционной пайки Трасса-5610	Ширина конвейера 250 мм, 5 зон нагрева	Скорость конвейера 0,50–2,5 м/мин. Габариты 1630×465×180 мм
Установка ИК пайки Радуга-21М	Ширина конвейера 400 мм. Компьютерное управление температурным профилем	Скорость конвейера 0,15–2,5 м/мин. Габариты 2000×770×1150
ИК печь конвекционного оплавления Omni Flex Electrovert	Ширина конвейера 300–500 мм, 7 зон нагрева, 2 охлаждения, для плотного двухстороннего смешанного монтажа	Скорость конвейера 0,5–3,5 м/мин. Габариты в плане 4940×1168



ПРИЛОЖЕНИЕ И

**ПРИМЕРЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ**

*Пример заполнения титульного листа комплекта технологических документов*

				БГУИР	ГУИР.406124.001	—	ГУИР.01188.00001
			<b>Модуль контроллера</b>			○	
			Министерство образования Республики Беларусь				
			Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»				
			<b>УТВЕРЖДАЮ</b> Зав. кафедрой ЭТТ				
			_____ А.П. Достанко				
			«___»_____ г.				
			<b>КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ на технологические процессы сборки, монтажа и контроля</b>				
			<b>Разработал:</b>		<b>Проверил:</b>		
			_____ И.В. Егоров		_____		
			«___»_____ г.		«___»_____ г.		
			Акт № _____				
Дубл.	Взам.	Подл.					
			ТЛ				

Продолжение приложения И

Пример заполнения первого листа маршрутной карты

						ГУИР.01188.00001	7	1									
						ГУИР.406124.001	—	ГУИР.10188.00001									
						Модуль контроллера			О								
						В	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции						
						Г	Обозначение документа										
						Д	Код оборудования				Наименование, модель оборудования						
						Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.
						Л/М	Наименование детали, сборочной единицы или материала										
						Н/М	Обозначение, код		ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх				
						01											
						В02			1	005	<b>0200 Входной контроль деталей</b>						
						Г03	ГУИР.60102.00012, ИОТ при контроле плат, микросхем и радиоэлементов										
						Д04	Стол рабочий ОМ-1971										
						Е05	03	12920	3		1	1	5	11,21			
						06											
						В07			2	010	<b>8879 Комплектование</b>						
						Г08	ГУИР.30188.00010, ИОТ при комплектовании, упаковке и распаковке изделий										
						Д09	Стол рабочий ОМ-1971										
						Е10	03	12837	2	1	1	1	1,0	5	5,0		
						Т11	ГГ 7879 – 4053 Тара технологическая										
						12											
						В13			3	015	<b>8531 Формовка и обрезка выводов ЭРЭ</b>						
						Г14	ГУИР.25185.00014, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры										
						Д15	Стол рабочий СМ-3										
						Е16	03	18596	3	1	1	1	1,0	10	13,25		
						Т17	ГГ 1420-4023 Приспособление для формовки и обрезки										
						18											
						В19			5	020	<b>8870 Установка и пайка резисторов</b>						
						Г20	ГУИР.25188.00012, ИОТ для слесаря-сборщика радиоаппаратуры										
						Д21	Стол рабочий СМ-3										
						Е22	03	14544	4	1	1	1	1,0	5	5,56		
						О23	Установить и паять припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76 резисторы R50...R65, R72...R76 на плату согласно чертежу										
						24	Кусачки монтажные ГОСТ 24244-87										
						Т25	Паяльник ПВНРС 65-42										
						Т26											
						27											
						28											
Дубл.	Взам.	Подп.									Разраб.	Егоров И.В.					
											Проверил	Бондарик В.М.					
											Т. контроль	Ланин В.Л.					
											Согл. БМН						
			Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н. контр.	Сидоров А.Н.								
			МК														

Продолжение приложения И

Пример заполнения второго листа маршрутной карты

		ГУИР.406124.001				—	ГУИР.10188.00001				7					
		В	Цех	Уч.	PM	Опер.	Код, наименование операции									
		Г														
		Обозначение документа														
		Д					Код оборудования					Наименование, модель оборудования				
		Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.			
		Л/М														
		Наименование детали, сборочной единицы или материала														
		Н/М					Обозначение, код	ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх				
		01														
		В02	26		125		<b>0310 Визуальный контроль</b>									
		Г03	ГУИР.25103.00034, ИОТ для контроллеров													
		Д04	Стол рабочий ОМ-1971													
		Е05	03	13460	5	1	1	1	1,0	5	14,0					
		Т06	VS8 63669/0.12					Рабочее место визуального контроля								
		07														
		О08	1. Извлечь плату из тары и установить на рабочее место контроля.													
		О09	2. Осуществить визуальный контроль качества сборки изделия.													
		010	3. Сделать отметку в сопроводительных документах.													
		11														
		В12	1		1		130		<b>0320 Электрический контроль</b>							
		Д13	ГУИР.25103.00023, ИОТ для контроллеров													
		Е14	SPEA 4040					Автоматический тестер контроля								
		О15	1	12920	3	1	1	1	1	20	5,45					
		О16	1. Извлечь плату из тары.													
		О17	2. Установить плату на адаптер тестера контроля, осуществить электрический контроль по программе.													
		О18	3. Сделать отметку в сопроводительном документе.													
		Т19	4. Уложить плату в тару.													
		20	ГГ 7879 – 4053					Тара цеховая								
		21														
		22														
		23														
		24														
		25														
		26														
		27														
		28														
		29														
		30														
		31														
		32														
		МК														

Продолжение приложения И

Пример заполнения ведомости технологических документов

					ГУИР.01188.00001	1	1		
			БГУИР	ГУИР.406124.001		ГУИР.40188.00001			
			Модуль контроллера				О		
			С	НПП	Обозначение ДСЕ	Наименование ДСЕ	КП		
			Ф	ЦЦН	Обозначение комплекта ТД	Наименование комплектов ТД	Листов		
			Г	Обозначение ТД		Услов. обоз.	Лист	Листов	Примечание
			01						
			02	ГУИР.01188.00001	<b>Комплект технологической документации</b>				
			03						
			Ф04	1	ГУИР.01188.00001 ТЛ	Титульный лист			1
			05						
			Ф06	2	ГУИР.10188.00001 МК	Маршрутная карта			4
			07						
			Ф08	3	ГУИР.20188.00001 КЭ	Карта эскизов			1
			09						
			Ф10	4	ГУИР.30196.00001 КК	Комплектовочная карта			3
			11						
			Ф12	5	ГУИР.40198.00001 ВТД	Ведомость технолог. докум.			1
			13						
			Ф14	6	ГУИР.42188.00001 ВО	Ведомость оснастки			1
			15						
			16						
			17						
			18						
			19						
			20						
			21						
			22						
			23						
			24						
			25						
			26						
			27						
			28						
			29						
			30						
			31						
			32						
			33						
			34						
			35						
			36						
Дубл.	Взам.	Подл.				Разраб.	Кашко В.В.		
						Проверил	Бондарик В. М.		
						Нач. бюро			
						Согл. БМН			
						Н. контр.	Собчук Н.С.		
			ВТД						

Продолжение приложения И

Пример заполнения комплекточной карты

					ГУИР.01188.00001	3	1
					ГУИР.406124.001	—	ГУИР.30196.00001
					Сигнализатор концентрации паров аммиака		О
				В	Цех	Уч.	РМ
					Опер.	Код, наименование операции	
				Л/М	Поз.	Наименование детали, сборочной единицы или материала	
				Н/М	Обозначение	ОПП	ЕВ
						ЕН	Кп
				Я		Н. расх.	
						Раз. П.	Общ. П.
						Такт. П.	
				01			
				В02	2	010	<b>8831 Установка модуля питания</b>
				Л03	1	Модуль питания	
				Н04	АРС 6.122.001		шт 1 1
				Л05	2	Основание	
				Н06	АРС 8.074.002		шт 1 1
				Л07	3	Винт самонарезной 4x8.05	
				Н08	ГОСТ 10620-80		шт 1 4
				Л09	4	Шайба 4.04.016	
				Н10	ГОСТ 10450-78		шт 1 4
				11			
				В12	3	015	<b>8831 Установка выключателя</b>
				Л13	1	Втулка предохранительная резиновая 6-6	
				Н14	ГОСТ 19421-74		шт 1 1
				Л15	2	Выключатель сетевой	
				Н16	tip 8600 SPST		шт 1 1
				17			
				В18	4	020	<b>8831 Установка шнура сетевого</b>
				Л19	1	Шнур сетевой с евровилкой	
				Н20	АС-162		шт 1 1
				Л21	2	Стяжка для кабеля CCCV-CV-075	
				Н22	UL94V-2		шт 1 1
				Л23	3	Скоба для кабеля (Рвн 6 мм)	
				Н24	NF 1, 2		шт 1 1
				Л25	4	Лепесток 1-2-3,2x12-05	
				Н26	ГОСТ 22376-77		шт 1 1
				27			
				28			
				29			
				30			
				31			
Дубл. Взам. Подл.						Разраб.	Егоров И.В.
						Проверил	Бондарик В.М.
						Т. контр.	Ланин В.Л.
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н. контр.	Сидоров А.Н.
	КК						

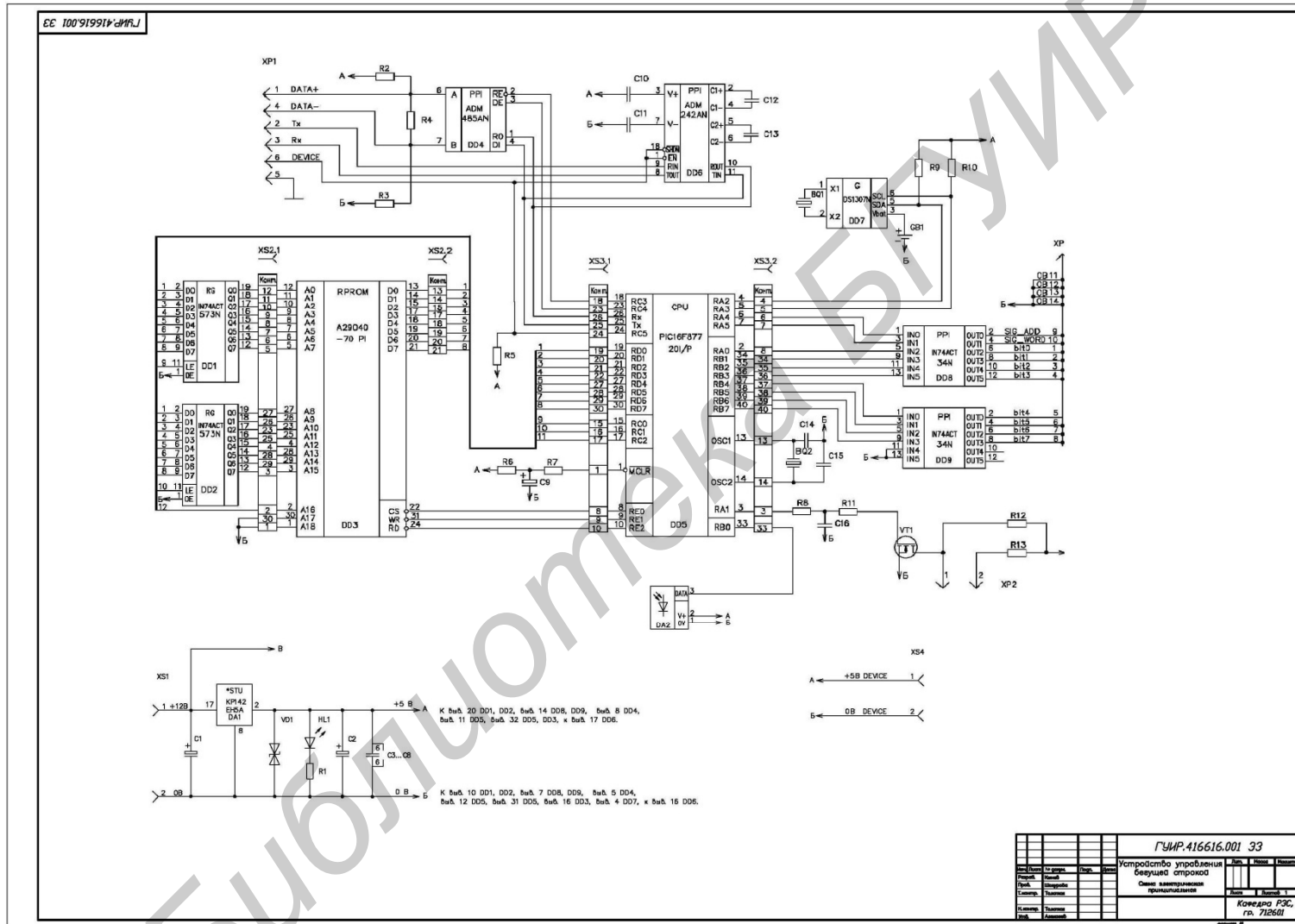
Продолжение приложения И

Пример заполнения операционной карты

							ГУИР.01188.00001		1		1							
							ГУИР.406124.001	—		ГУИР.60188.00001								
							<b>Контроллер</b>				О							
							В	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции						
							Г	Обозначение документа										
							Д	Код оборудования				Наименование, модель оборудования						
							Е	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.
							Л/М	Наименование детали, сборочной единицы или материала										
							Н/М	Обозначение, код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх			
							01											
							В02	5	020	<b>8870 Установка и пайка резисторов</b>								
							Г03	ГУИР.25188.00001, ИОТ для слесаря-сборщика РЭА										
							Д04	Стол рабочий СМ-5										
							Е05	03	14544	4	1	1	1	1,0	5	7,56		
							Т06	Пинцет ГОСТ 21241-89										
							Т07	Кусачки монтажные ГОСТ 24244-87										
							Т08	Паяльник ПВНРС 65-42										
							О09	1. Извлечь плату из тары и установить в приспособление.										
							О10	2. Установить резисторы R50...R65, R72...R76 на плату согласно чертежу.										
							О11	3. Паять резисторы припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76.										
							О12	4. Проверить внешним осмотром качество пайки.										
							О13	5. Заполнить сопроводительную документацию и отправить изделие по маршруту.										
							14											
							15											
							16											
							17											
							18											
							19											
							20											
							21											
							22											
							23											
							24											
							25											
							26											
							27											
							28											
							29											
												Разраб.	Егоров И.В.					
												Проверил	Бондарик В.М.					
												Т. контроль	Ланин В.Л.					
												Согл. БМН						
												Н. контр.	Сидоров А.Н.					
												Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
												ОК						

# ПРИЛОЖЕНИЕ К

## Пример оформления схемы электрической принципиальной устройства



**ПРИЛОЖЕНИЕ Л**  
**Пример выполнения перечня элементов к схеме электрической**  
**принципиальной**

<i>Поз. обознач.</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>					
	<u>Конденсаторы</u>							
C1	Чип танталовый В-6.3 В 10 мкФ ± 20 %	1	Epcos					
C2,C3	Чип керамический 1206-Y5V-0,1 мкФ + 80/- 20 %	2	Epcos					
C4...C17	Чип керамический 1206-NPO-39 пФ ± 5 %	9	Epcos					
C18...C22	Чип танталовый С-6.3 В 22 мкФ ± 20 %	5	Epcos					
	<u>Микросхемы</u>							
DA1	AD7705BR	1	Analog Devices					
DA2	ADR127AUJZ-R2	1	Analog Devices					
DA3	TPS60111PWP	1	Texas Instruments					
DD1	ADG659YRU	1	Analog Devices					
DD2	C8051F310	1	Silicon Laboratories					
DD3	IN74HC273ADW ТУ РБ 14513714.004-07-95	1						
DD4	DS1305EN	1	Maxim					
DD5	AT45DB642D-TU	1	Atmel					
DD6	IN74HC14AD ТУ РБ 14513714.004-02-95	1						
DD7	IN74HC74AD ТУ РБ 14513714.004-03-95	1						
GB1	Батарея литиевая CR1220 1HF	1	Panasonic					
<b>ГУИР.687274.010 ПЭЗ</b>								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Иванов				Плата блока измерения Перечень элементов	Лит	Лист	Листов
Пров.	Петров					0	1	5
Г.контр.	Сидоров					Кафедра ЭТТ гр. 510205		
Н.контр	Васильев							
Утв.	Мишкин							



Продолжение приложения Л

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание		
HA1	Звонок пьезокерамический ЗП-25 ДЖГК.433631.003 ТУ	1			
	<u>Резисторы</u>				
R1,R2	MF-25-2,67 кОм ± 0,1 %	2	Симметрон		
R3...R5	MF-25-249 Ом ± 0,1 %	2	Симметрон		
R6...R11	Чип 1206-10 кОм ± 5 %	6	Yageo		
R12	Чип 1206-220 Ом ± 5 %	1	Yageo		
R13	Чип 0805-10 Ом ± 5 %	1	Симметрон		
R14	Чип 0805-1 Ом ± 5 %	1	Yageo		
VD1...VD4	Диод LL4448 ТУ РБ 07601151.004-94	4			
VD5,VD6	Стабилитрон BZV55-C6V2 ТУ РБ 07601151.007-95	2			
VD7	Диод MBR0530E1	1	ON Semiconductor		
VT1	Транзистор FV303N	1	Fairchild Semiconductor		
VT2	Транзистор NDT452AP 932-632 Farmel	1	Fairchild Semiconductor		
XP1	Вилка USB Type B C8317-04DFHSWo 42-708-98 Elfa	1			
XS1	Розетка на плату SD-52202-1617	1	Molex Incorporated		
ZQ1	Резонатор кварцевый Q 1 МГц MQ1-S-30/50	1	Jauch		
ZQ2	Резонатор кварцевый Q 0,032768 МГц MEA32-12.5-30	1	Jauch		
ГУИР.687274.010 ПЭЗ			Лист		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	2

**ПРИЛОЖЕНИЕ М**  
**Пример выполнения спецификации**

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			ГУИР.941801.001 Э1	Схема электрическая структурная		
A4			ГУИР.941801.001 Э3	Схема электрическая принципиальная		
A1			ГУИР.941801.001 ПЭ3	Перечень элементов		
A1			ГУИР.687801.001 СБ	Сборочный чертеж		
				<u>Детали</u>		
БЧ		1	ГУИР.741801.001	Прокладка	1	
БЧ		2	ГУИР.743801.001	Скоба	1	
A1		3	ГУИР.758801.001	Плата печатная	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
				Винты ГОСТ 30560-98		
		5		М.3-6gx6.36.016	3	
		6		М.3-6gx18.36.016	2	
				<b>ГУИР.687801.001</b>		
Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Петров			Лит.	Лист
Пров.		Крупенин			О	1
Т. контр.		Сидоров				Листов
Н.контр		Зеленков				5
Утв.		Иванов			<b>БГУИР</b> гр. 811801	

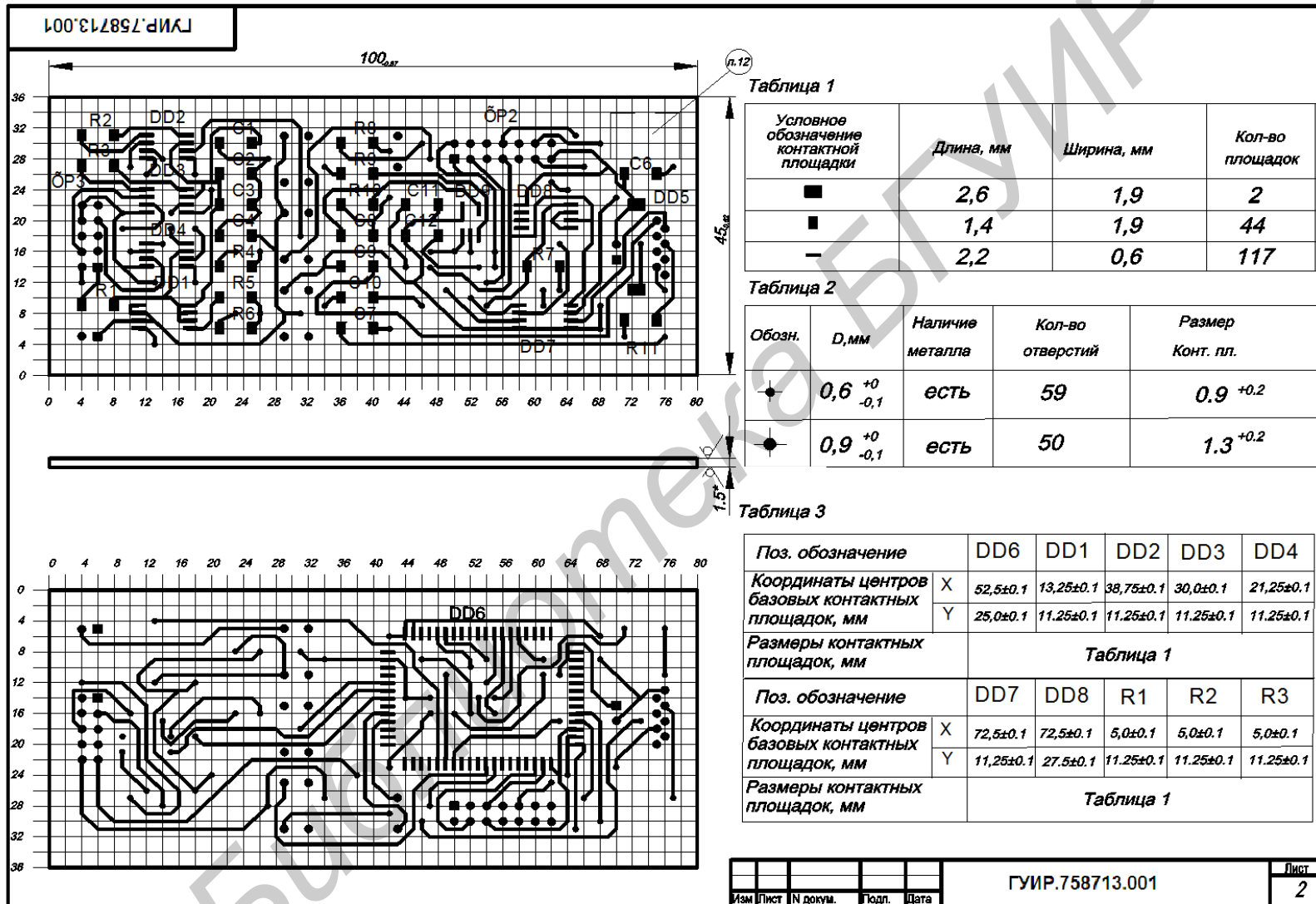
## Продолжение приложения М

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Гайка ГОСТ 5916-70		
		7		М3.5.016	4	
				Шайба ГОСТ 6958-78		
		8		3.05.08 кп	7	
				<u>Прочие изделия</u>		
		9		Аккумулятор 1,5 В типа АА	4	GB1-GB4
		10		Датчик давления ВР01 Sensum	1	BP1
		11		Звуковой преобразователь SEM-1205C Soundtech	1	BA1
		12		Клапан электрический X-Valve Pneutronics	2	Y1, Y2
				Конденсаторы		
				К73-17 ОЖО.460.104 ТУ		
				К10-17 ОЖО.460.107 ТУ		
				К73-24 ОЖО.461.139 ТУ		
				К50-35 ОЖО.464.214 ТУ		
		13		К73-17-0,27мкФ ± 5 %	1	С14
		14		К73-17-0,75мкФ ± 5 %	1	С12
<b>ГУИР.687801.001</b>						Лист 2
Изм.	Лист.	№ до- кум.	Подп.	Дата		

**ПРИЛОЖЕНИЕ Н**  
**Пример оформления чертежа печатной платы**

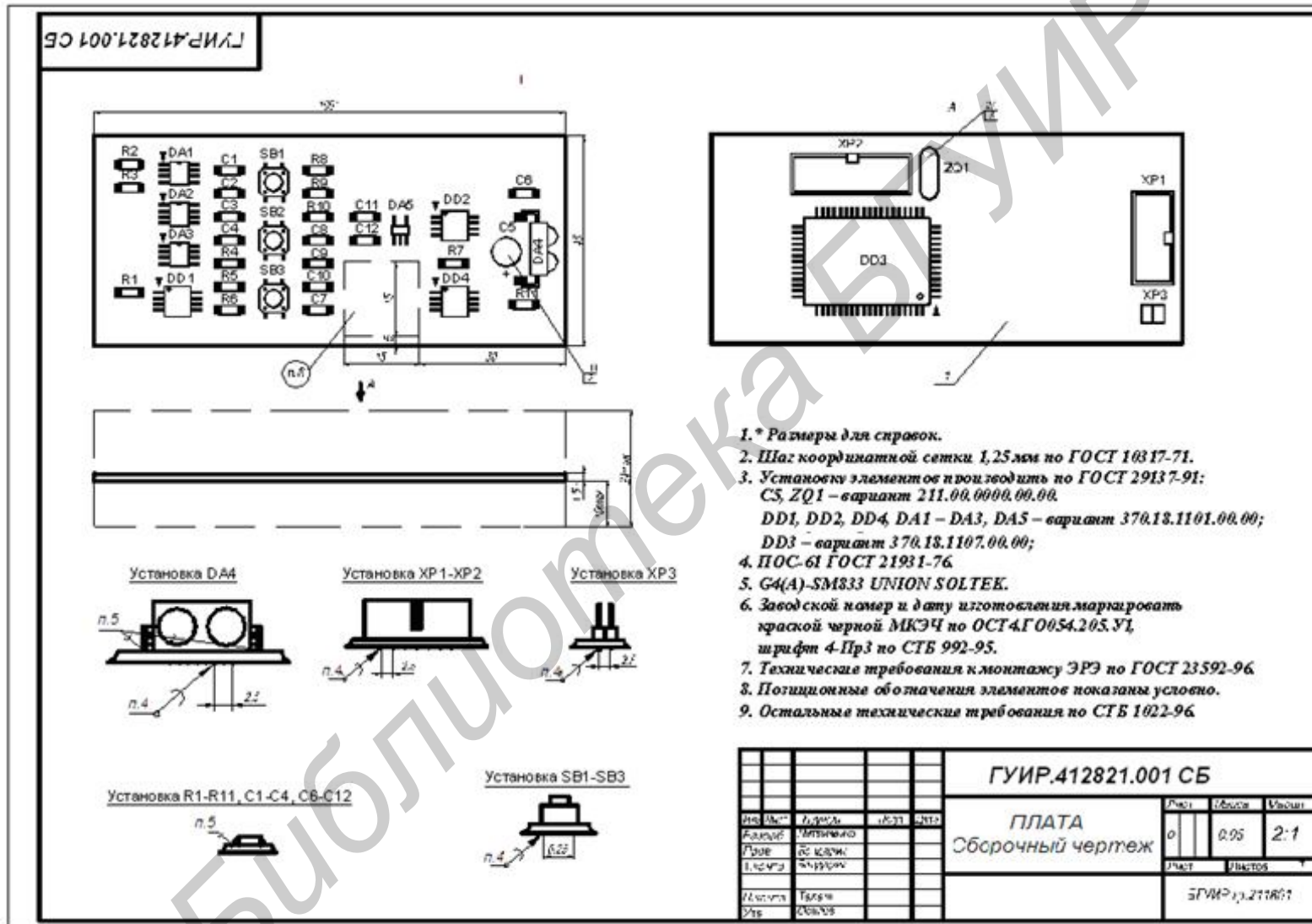
ГУИР.758713.001				$\sqrt{Ra5,0}$ (✓)				
<p>1.* Размер для справок.</p> <p>2. Плату изготовить комбинированным позитивным методом.</p> <p>3. Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости 2.</p> <p>4. Класс точности 3 по ГОСТ 23751-86.</p> <p>5. Шаг координатной сетки 1,25 мм по ГОСТ10317-71.          Линии координатной сетки нанесены через одну.</p> <p>6. Конфигурацию проводников выдерживать по чертежу с отклонением 0,05 мм .</p> <p>7. Форма контактных площадок круглая, <math>b_{min}=0.1</math> мм, для первого вывода микросхем – прямоугольная. Для планарных – см. табл. 1.</p> <p>8. Параметры печатного монтажа приведены в таблицах 1, 2</p> <p>9. Координаты центров базовых контактных площадок для поверхностно-монтируемых элементов см. табл. 3 (лист 2).</p> <p>10. Покрытие контактных площадок и металлизированных отверстий ENIG .</p> <p>11. На плату с двух сторон наносить маску FSR 8000-8G UNION SOLTEK GROUP.</p> <p>12. Маркировать маской FSR 8000-10W UNION SOLTEK GROUP</p> <p>а) позиционные обозначения элементов.          Шрифт 2,5-Пр3 СТБ 992-95;</p> <p>б) заводской номер и дату изготовления.          Шрифт 4-Пр3 СТБ 992-95 .</p>								
				<b>ГУИР.758713.001</b>				
Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата	<b>Плата печатная</b>			
Разраб.		Литвиненко						
Пров.		Бондарик						
Т. контр		Бондарик						
					Лит	Масса	Масшт.	
					0	14,8 г	4:1	
					Лист	1	Листов	2
					Лист фольгированный GFN 1.5 18/18 A 2 C		<b>БГУИР гр.211101</b>	
Н. контр		Холенков						
Утв.		Осипов						

Продолжение приложения Н



Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата	ГУИР.758713.001	Лист 2
------	------	----------	-------	------	-----------------	-----------

ПРИЛОЖЕНИЕ П  
Пример оформления сборочного чертежа печатного узла



*Учебное издание*

**Костюкевич** Анатолий Александрович  
**Бондарик** Василий Михайлович  
**Достанко** Анатолий Павлович  
**Алексеев** Виктор Федорович

***КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ***

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Редактор *Г. С. Корбут*  
Корректор *А. В. Бас*

Подписано в печать 29.06.2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 7,09. Уч.-изд. л. 6,7. Тираж 100 экз. Заказ 437.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03. 2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6