

**З.М. СЕЛИВАНОВА, А.В. ПЕТРОВ**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

**• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**З.М. Селиванова, А.В. Петров**

# **ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Рекомендовано Учёным советом университета  
в качестве лабораторного практикума для студентов 5, 6 курсов  
дневного и заочного отделений, экстерната и дистанционного обучения  
специальности 210201 «Проектирование и технология  
радиоэлектронных средств»



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2008

УДК 621.396.6.075  
ББК 844-06я73-5  
С 291

Р е ц е н з е н т ы :

Кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Материалы и технология» ТГТУ  
*Ю.А. Брусенцов*

Доктор технических наук,  
зам. директора по научной работе Тамбовского научно-исследовательского института радиотехники «Эфир»  
*И.И. Пасечников*

**Селиванова, З.М.**

С291      Технология радиоэлектронных средств : лабораторный практикум / З.М. Селиванова, А.В. Петров. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0723-0.

Рассмотрены теоретические и практические аспекты анализа технологичности блоков радиоэлектронных устройств, разработки технологических процессов их сборки и монтажа, контроля, проверки и настройки, оценки точности радиоэлектронных средств аппаратным и программным методами.

Предназначен для студентов дневного и заочного отделений, экстерната и дистанционного обучения специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

УДК 621.396.6.075  
ББК 844-06я73-5

ISBN 978-5-8265-0723-0

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

СЕЛИВАНОВА Зоя Михайловна,  
ПЕТРОВ Александр Владимирович

## ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Лабораторный практикум

Редактор З.Г. Чернова  
Компьютерное макетирование Т.Ю. Зотовой

Подписано в печать 01.09.2008  
Формат 60×84/16. 4,65 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ 362

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум «Технология радиоэлектронных средств» предназначен для студентов специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», изучающих дисциплину «Технология радиоэлектронных средств» в рамках учебной программы в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования направления подготовки дипломированного специалиста 654300 «Проектирование и технология электронных средств».

В лабораторном практикуме приведены теоретические сведения по технологии производства радиоэлектронных средств (РЭС). Приведены расчёт и анализ технологичности конструкции радиоэлектронного средства с целью обеспечения выпуска изделия высокого качества с использованием прогрессивных технологий и минимальными затратами на изготовление.

Рассмотрены вопросы разработки и внедрения в производство высокопроизводительных технологических процессов сборки и монтажа изделий. Предлагается применение информационных технологий для автоматизации процесса производства печатных плат, аппаратных и измерительных средств, для контроля работоспособности типовых элементов замены, проверки, регулировки и настройки изделий РЭС.

Рекомендуется проведение лабораторного практикума по расчёту и анализу технологичности изделий РЭС, проектированию печатных плат, исследованию точности изготовления партии изделий статистическим методом с использованием персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения: известной программы автоматизированного проектирования P-CAD, и разработанных программных продуктов «Technology.exe» и «Stat.exe».

## РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

**Цель работы:** изучить методику расчёта технологичности узла радиоэлектронного средства (РЭС) и выполнить расчёт на персональном компьютере с помощью программы «Technology.exe». Рассчитать комплексный показатель технологичности и сделать вывод об уровне технологичности заданного узла РЭС.

### Краткие теоретические сведения

Под технологичностью изделия понимается определённое количество параметров выпускаемого на производстве изделия, технологической подготовки и производственного процесса, от которых в результате зависит качество изделия. Оценка и анализ технологичности изделия позволяют рассмотреть возможность выбора и использования методов реализации технологических операций и процессов при изготовлении деталей, сборке и монтаже с применением средств автоматизации и механизации.

Количественная оценка технологичности осуществляется на основе базовых показателей (ОСТ 4.ГО.091.219), включающих рассчитанные и достигнутые при доработке и совершенствовании изделия параметры.

Комплексный показатель технологичности рассчитывается с использованием базовых показателей по следующей зависимости [1]:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

где  $K_i$  – базовый показатель технологичности;  $\varphi_i$  – коэффициент, характеризующий весовую значимость базового показателя технологичности;  $n$  – количество базовых показателей технологичности (как правило,  $n = 7$ ).

Величина коэффициента, характеризующего весовую значимость показателей, зависит от порядкового номера показателя технологичности, ранжированная последовательность которого установлена экспериментально и рассчитана по формуле

$$\varphi = \frac{i}{2^{i-1}},$$

где  $i$  – порядковый номер показателя в ранжированной последовательности.

Технологичной называют такую конструкцию, которая полностью отвечает предъявляемым к изделию требованиям, может быть изготовлена с применением наиболее экономичных, при принятом типе производства и объёме выпуска изделия, технологических процессов [2].

Отработка конструкции изделия на технологичность направлена на снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, технологическое обслуживание и ремонт изделий при обеспечении необходимого качества.

В качестве примера приведены базовые показатели технологичности электронного узла.

1. Коэффициент использования интегральных микросхем и микросборок

$$K_{\text{ИСИМС}} = \frac{H_{\text{ИМС}}}{H_{\text{ИМС}} + H_{\text{ЭРЭ}}},$$

где  $H_{\text{ИМС}}$  – число интегральных микросхем и микросборок;  $H_{\text{ЭРЭ}}$  – количество электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

2. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа ЭРЭ

$$K_{\text{АиМ}} = \frac{H_{\text{АиМ}}}{H_{\text{М}}},$$

где  $H_{\text{АиМ}}$  – количество монтажных соединений, осуществляемых автоматизированным или механизированным способом;  $H_{\text{М}}$  – общее количество монтажных соединений.

3. Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу

$$K_{\text{МП}} = \frac{H_{\text{МП}}}{H_{\text{ЭРЭ}}},$$

где  $H_{\text{МП}}$  – число ЭРЭ, подготовка которых к монтажу осуществляется механизированным способом;  $H_{\text{ЭР}}$  – общее количество навесных элементов ЭРЭ.

4. Коэффициент механизации операций контроля и настройки электрических параметров

$$K_{\text{МКН}} = \frac{H_{\text{МКН}}}{H_{\text{КН}}},$$

где  $H_{\text{МКН}}$  – количество операций контроля и настройки, которые можно осуществить механизированным способом;  $H_{\text{КН}}$  – общее количество операций контроля и настройки.

5. Коэффициент повторяемости ЭРЭ

$$K_{\text{пов}} = 1 - \frac{H_{\text{ТЭРЭ}}}{H_{\text{ЭРЭ}}},$$

где  $H_{\text{ТЭРЭ}}$  – общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии;  $H_{\text{ЭРЭ}}$  – общее количество ЭРЭ в изделии.

6. Коэффициент применяемости ЭРЭ

$$K_{\text{ПЭРЭ}} = 1 - \frac{H_{\text{ТОРЭРЭ}}}{H_{\text{ТЭРЭ}}},$$

где  $H_{\text{ТОРЭРЭ}}$  – количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ;  $H_{\text{ТЭРЭ}}$  – общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии.

7. Коэффициент прогрессивности формообразования деталей

$$K_{\text{ф}} = \frac{D_{\text{пр}}}{D},$$

где  $D_{\text{пр}}$  – количество деталей, изготавливаемых прогрессивными методами формообразования;  $D$  – общее количество деталей в блоке.

### Методические указания и порядок выполнения работы

1. В соответствии с заданием для своего варианта из прил. А к данной лабораторной работе выбрать электрическую принципиальную схему печатного узла РЭС и изучить её.
  2. Определить тип печатного узла в соответствии с существующей классификацией блоков РЭС (электронный, радиотехнический, электромеханический, коммутационный).
  3. Для электрической схемы разработать сборочный чертёж печатного узла (пример выполнения приведён в прил. Б).
  4. Составить перечень элементов и спецификацию, примеры выполнения которых приведены в прил. В и Г, соответственно.
  5. Для соответствующего типа блока своего варианта выбрать базовые показатели технологичности из литературы [3] и занести значения и весовые коэффициенты базовых показателей технологичности печатного узла блока в табл. 1.1. В качестве примера в табл. 1.1 приведены показатели для электронного блока.
  6. Исходные данные для расчёта комплексного показателя технологичности занести в табл. 1.2.
- Значения исходных данных табл. 1.2 студент определяет с помощью принципиальной электрической схемы для заданного варианта и составленного перечня элементов. Задаётся необходимый уровень механизации и автоматизации при производстве печатного узла РЭС.

#### 1.1. Значения и весовые коэффициенты базовых показателей технологичности электронного узла

Наименование показателя	Обозначение	Значение	Весовой коэффициент
Коэффициент использования интегральных микросхем и микросборок	$K_{\text{ИСИМС}}$		1
Коэффициент автоматизации и механизации монтажа изделий	$K_{\text{АИМ}}$		1
Коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу	$K_{\text{МП}}$		0,75
Коэффициент механизации операций контроля и настройки электрических параметров	$K_{\text{МКН}}$		0,5
Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{\text{пов}}$		0,313
Коэффициент применяемости ЭРЭ	$K_{\text{ПЭРЭ}}$		0,188
Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{\text{ф}}$		0,109

## 1.2. Исходные данные для расчёта комплексного показателя технологичности

Наименование показателя	Обозначение	Значение
Количество монтажных соединений, которые осуществляются автоматизированным или механизированным способом	$H_{\text{АиМ}}$	
Общее количество монтажных соединений	$H_{\text{М}}$	
Общее количество ЭРЭ	$H_{\text{ЭРЭ}}$	
Количество ЭРЭ, подготовка которых осуществляется механизированным способом	$H_{\text{МП}}$	
Количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным способом	$H_{\text{МКН}}$	
Общее количество операций контроля и настройки	$H_{\text{КН}}$	
Общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии	$H_{\text{ТЭРЭ}}$	
Число деталей, полученных прогрессивными методами формообразования	$D_{\text{пр}}$	
Общее число деталей в блоке	$D$	
Число интегральных микросхем	$H_{\text{ИМС}}$	
Количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ	$H_{\text{ТОРЭРЭ}}$	

7. Рассчитать базовые и комплексный показатели технологичности на персональном компьютере (ПК) с помощью программы «Technology.exe». Для расчёта показателей необходимо:

- 1) изучить описание работы с программой;
- 2) получить вариант задания в соответствии с табл. 1.3 и произвести расчёт технологичности блока РЭС на ПК.

В табл. 1.3 коэффициенты  $K$  соответствуют типам блоков РЭС следующим образом:

- $K = 1$  – электронный блок;  
 $K = 2$  – радиотехнический блок;  
 $K = 3$  – электромеханический или механический блок;  
 $K = 4$  – соединительный, коммутационный или распределительный блок.

Следующие обозначения в табл. 3 означают:

- $E_{\text{сл}}$  – количество узлов, требующих регулировки сложным оборудованием в составе изделия;  
 $E$  – общее количество узлов в изделии;  
 $D_{\text{рд}}$  – количество деталей в изделии, имеющих размеры с допусками по 10 качеству и выше;  
 $D_{\text{сс}}$  – количество деталей требующих обработки снятием стружки;  
 $D_{\text{т}}$  – количество типоразмеров деталей;  
 $E_{\text{т}}$  – количество типоразмеров узлов;  
 $M$  – масса изделия без учёта комплектующих;  
 $M_{\text{м}}$  – масса материалов, израсходованных на изготовление изделия;  
 $H_{\text{см}}$  – количество сортаментов материалов, применяемых в изделии;  
 $D_{\text{торд}}$  – количество типоразмеров оригинальных деталей в изделии.

### 1.3. Варианты заданий для расчёта на ПК

Частные показатели технологичности	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Значение показателей для типов блоков							
	$K = 1$		$K = 2$		$K = 3$		$K = 4$	
$H_{\text{ИМИ}}$	1449	50	0	0	0	0	0	0
$H_{\text{АиМ}}$	1200	40	36	24	0	0	0	0
$H_{\text{ЭРЭ}}$	1861	100	12	15	0	0	0	0
$H_{\text{М}}$	1700	60	50	40	0	0	0	0

$H_{МП}$	1051	10	8	5	0	0	0	0
$H_{МКН}$	26	2	2	1	0	0	0	0
$H_{КН}$	62	6	5	3	0	0	0	0
$H_{ТЭРЭ}$	60	10	10	12	0	0	0	0
$H_{ТОРЭРЭ}$	10	5	0	0	0	0	0	0
$D_{пр}$	25	8	12	15	3	18	6	8
$D$	40	30	18	21	60	20	50	18
$E_{сл}$	0	0	5	8	21	3	4	5
$D_{т}$	0	0	0	0	30	12	0	0
$D_{рд}$	0	0	8	11	2	2	7	9
$D_{сс}$	0	0	0	0	6	3	0	0
$E$	0	0	0	0	12	6	0	0
$E_{т}$	0	0	12	18	9	5	8	7
$M$	0	0	0	0	20	23	15	12
$M_{м}$	0	0	0	0	28	31	18	15
$H_{СМ}$	0	0	0	0	0	0	3	1
$D_{торд}$	0	0	0	0	0	0	6	3

### Работа с программой

При запуске программы на экране компьютера появляется главное окно программы (рис. 1.1).

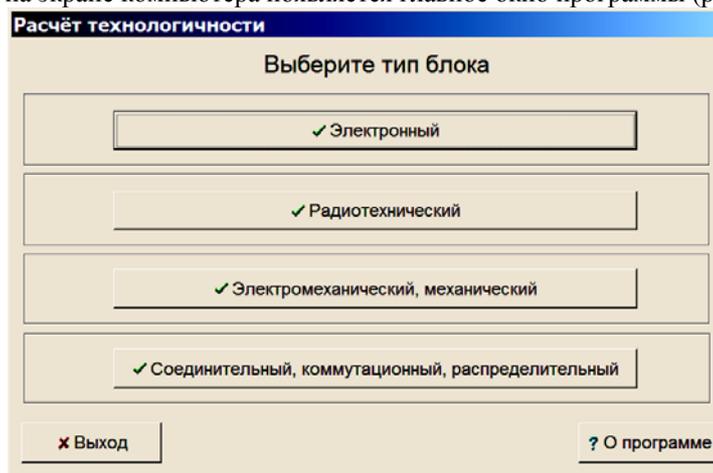


Рис. 1.1. Начальный вид главного окна программы

В этом окне приведены четыре типа блоков. В случае, если исходный блок простой, т.е. может быть непосредственно отнесен к одному из четырех вышеуказанных типов, необходимо нажать на кнопку с названием заданного типа блока. На экране появится окно, в котором можно будет ввести значения частных показателей технологичности, соответствующих данному типу блока. Значения частных показателей выбираются из табл. 1.3 согласно варианту задания, полученному у преподавателя. На рис. 1.2 изображен внешний вид диалога, появляющегося при нажатии кнопки с надписью «Электронный». Практически аналогичные диалоги выводятся на экран и при нажатии остальных трех кнопок: они различаются только составом частных показателей технологичности.

Список частных показателей технологичности организован в виде таблицы, состоящей из строк по количеству показателей для данного типа блока. В левой части каждой строки приведено полное название показателя, далее следует условное обозначение этого показателя и, наконец, справа находится поле, в которое и записывается собственно значение показателя технологичности. В момент открытия диалога во всех редакторах уже находятся числа – так называемые «значения по умолчанию».

Внизу окна находятся две кнопки. При нажатии на кнопку «Рассчитать» программа попытается вычислить базовые показатели технологичности для данного типа блока, используя текущие значения в редакторах и комплексный показатель технологичности. Если в каком-нибудь из них находится недопустимое значение (например, вместо числа введена строка), то программа выдаст сообщение о том, какой из показателей задан неправильно (см. рис. 1.3).

**Расчёт технологичности электронного блока**

Введите данные

Количество микросхем и микросборок	$N_{ИМС} =$ <input type="text" value="1449"/>
Количество монтажных соединений, которые осуществляются механизированным или автоматизированным способом шт.	$N_{АнМ} =$ <input type="text" value="1200"/>
Общее количество ЭРЭ шт.	$N_{ЭРЭ} =$ <input type="text" value="1861"/>
Общее количество монтажных соединений шт.	$N_{М} =$ <input type="text" value="1700"/>
Количество ЭРЭ, подготовка которых к монтажу осуществляется механизированным способом шт.	$N_{МП} =$ <input type="text" value="1051"/>
Количество операций контроля и настроек, которые осуществляются механизированным способом шт.	$N_{МКН} =$ <input type="text" value="26"/>
Общее количество операций контроля и настройки шт.	$N_{КН} =$ <input type="text" value="62"/>
Общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии шт.	$N_{ТЭРЭ} =$ <input type="text" value="60"/>
Количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии шт.	$N_{ТОРЭРЭ} =$ <input type="text" value="10"/>
Количество деталей полученных прогрессивными методами формообразования шт.	$D_{пр} =$ <input type="text" value="25"/>
Общее количество деталей в изделии шт.	$D =$ <input type="text" value="40"/>

Рис. 1.2. Диалог ввода исходных данных для электронного блока

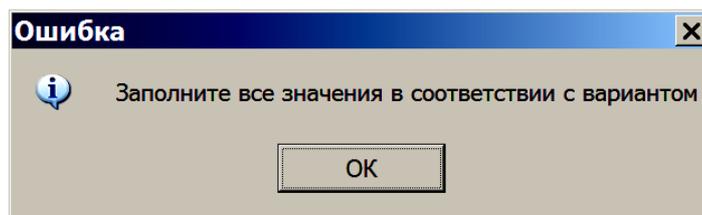


Рис. 1.3. Предупреждение о неправильно введённых данных

В противном случае программа произведет расчёты и выдаст на экран окно диалога, внешний вид которого показан на рис. 1.4. В этом диалоге находятся результаты расчёта: базовые показатели технологичности и комплексный показатель технологичности, вычисленный на их основе.

**Показатели технологичности Вашего электронного блока**

Электронный блок

Коэффициент использования микросхем и микросборок	$K_{ИСИМС} = 0.438$
Коэффициент автоматизации и механизации монтажа	$K_{АнМ} = 0.706$
Коэффициент механизации подготовки	$K_{МП} = 0.565$
Коэффициент механизации контроля и настройки	$K_{МКН} = 0.419$
Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{пов} = 0.968$
Коэффициент применяемости ЭРЭ	$K_{ПЭРЭ} = 0.833$
Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{Ф} = 0.625$

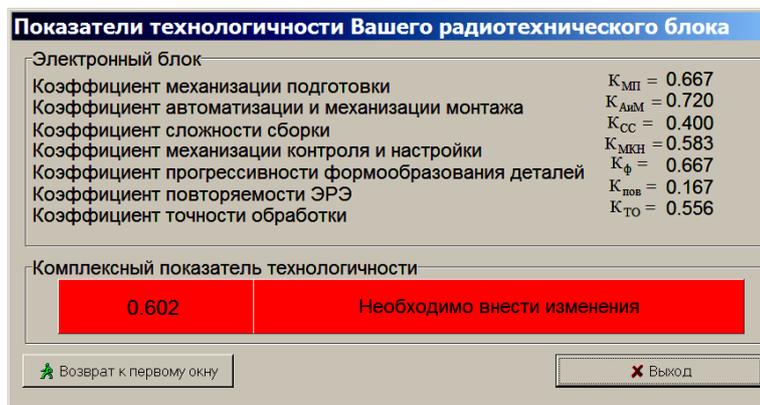
Комплексный показатель технологичности

**0.597**

Рис. 1.4. Результаты расчета комплексного показателя технологичности для электронного блока

При нажатии кнопки «Выход» будет завершена работа всей программы. Или же можно вернуться к первому окну с выбором типа блока по нажатию на кнопку «Возврат к первому окну». Комплексный показатель будет размещён на зелёном поле, если он удовлетворяет табл. 1.4, иначе будет на красном поле (рис. 1.5).

В случае, когда задан сложный блок, включающий в себя блоки двух и более типов (например, электронные и радиотехнические), то, чтобы посчитать общий показатель технологичности сложного блока, необходимо выполнить следующие действия. Нужно посчитать комплексные показатели технологичности для всех типов блоков, входящих в состав сложного блока, описанным выше способом, а затем найти их среднее арифметическое.



**Рис. 1.5. Неудовлетворительный результат расчёта комплексного показателя технологичности**

8. По полученному комплексному показателю необходимо сделать вывод о технологичности проектируемого блока и целесообразности его изготовления.

Нормативные значения комплексного показателя технологичности РЭС, по которым можно оценить блок РЭС, приведены в табл. 1.4.

#### 1.4. Нормативы комплексных показателей технологичности конструкций различных типов блоков

Наименование класса блоков	Значения $K$ для стадий разработки рабочей документации		
	опытный образец (партия)	установочная серия	установившееся серийное производство
Электронные	0,30...0,60	0,40...0,70	0,50...0,75
Электромеханические	0,20...0,50	0,40...0,60	0,45...0,65
Механические	0,10...0,30	0,25...0,35	0,30...0,40
Радиотехнические	0,20...0,50	0,25...0,35	0,30...0,60
Соединительные, коммутационные, распределительные	0,20...0,60	0,25...0,65	0,30...0,70

#### Содержание отчёта

1. Принципиальная электрическая схема блока РЭС.
2. Сборочный чертёж печатного узла.
3. Перечень элементов и спецификация.
4. Таблица значений и весовых коэффициентов базовых показателей технологичности для заданного блока РЭС (табл. 1.1).
5. Таблица исходных данных для расчёта комплексного показателя технологичности (табл. 1.2).
6. Таблица рассчитанных базовых и комплексного показателей технологичности на персональном компьютере с помощью программы «Technology.exe».
7. Вывод о технологичности блока РЭС по результатам сравнения рассчитанного комплексного показателя технологичности блока с нормативным значением, приведённым в табл. 1.4.

#### Контрольные вопросы

1. Какая конструкция блока РЭС называется технологичной?
2. Как выполняется оценка технологичности блоков РЭС?
3. Перечислите базовые показатели технологичности для известных блоков РЭС.
4. Как определяется комплексный показатель технологичности?
5. Каким коэффициентом характеризуется весовая значимость базовых показателей технологичности?
6. Назовите типы блоков РЭС.
7. Чему равны установленные нормативные значения комплексного показателя технологичности для известных типов блоков РЭС?

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ И МОНТАЖА БЛОКА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

**Цель работы:** разработать технологический процесс сборки блока радиоэлектронного средства (РЭС) на печатной плате и изготовить макет печатного узла.

### Краткие теоретические сведения

Разработка техпроцессов сборки и монтажа блока выполняется в соответствии с рекомендациями Р50-54-93–88 и включает определённое количество этапов в зависимости от типа изделия и производства.

Например, техпроцесс сборки и монтажа электронных блоков состоит из 9 основных этапов [1].

1. Анализ исходных данных – изучение конструкторской документации, расчёт и анализ технологичности конструкции, определение типа производства и объёма выпуска изделия.
  2. Выбор типового техпроцесса (ТП) – определение кода изделия по классификатору и отнесение изделия к соответствующей классификационной группе, использование действующего ТП.
  3. Разработка схемы сборки – определение состава деталей, комплектующих и сборочных единиц изделия (интегральных схем (ИС), электрорадиоэлементов (ЭРЭ), печатных плат (ПП), выбор базовой детали или сборочной единицы, способов сборки и монтажа; разработка схемы сборки с базовой деталью.
  4. Разработка маршрутного техпроцесса: определение последовательности технологических операций, выбор оборудования и технологического оснащения.
  5. Составление технологических операций: разработка структуры и точности операций, последовательности переходов, схем установки деталей при сборке и монтаже, расчёт режимов и загрузки оборудования.
  6. Технико-экономическое обоснование – выбор вариантов операций по технологической себестоимости и определение разряда работ по классификатору разрядов и профессий.
  7. Определение техники безопасности техпроцесса – выбор требований по шуму, вибрациям, радиации, воздействию вредных веществ, методов обеспечения сохранности экологической среды.
  8. Составление технологической документации, эскизов технологических операций и карт, карт маршрутного и операционного техпроцессов.
  9. Разработка технического задания на специальную оснастку – определение схемы базирования заготовок, погрешностей базирования и точности приспособлений, количества заготовок и схемы их закрепления.
- Типовой технологический процесс сборки узла РЭС на печатной плате представлен на рис. 2.1 [1, 4].

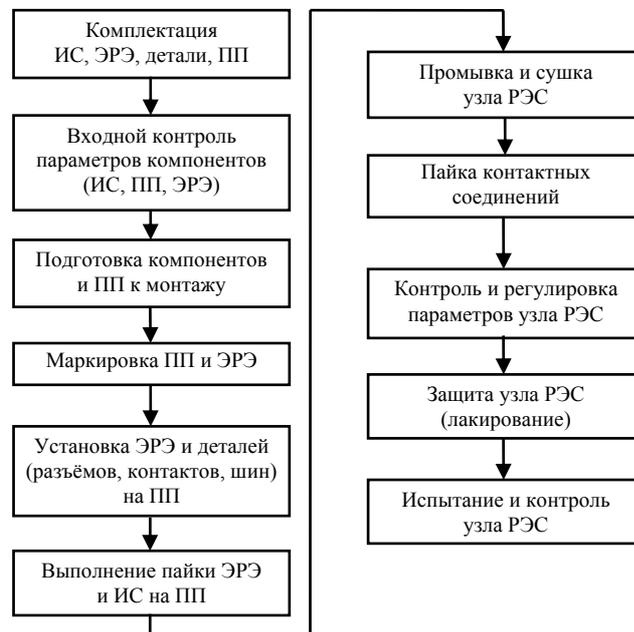


Рис. 2.1. Типовой технологический процесс сборки узла РЭС на печатной плате

При комплектации компоненты (ИС, ЭРЭ) размещаются в специализированные кассеты для реализации процесса автоматизации сборки.

Входной контроль ЭРЭ и ИС осуществляется по геометрическим размерам, форме, внешнему виду, электрическим параметрам и механической прочности.

Подготовка печатных плат к монтажу заключается в их промывке, контроле печатного монтажа и паяемости, маркировке платы.

При подготовке ЭРЭ к монтажу выполняется рихтовка их выводов, гибка по форме, обрезка и лужение. Технологические операции осуществляются с применением механизации и автоматизации.

Пайка контактных соединений ЭРЭ и ИС на печатных платах выполняется расплавленным припоем под действием постоянного или импульсного нагрева зоны соединения. Применяется механизированная пайка волной припоя.

Технологические операции промывки и сушки узлов РЭС необходимы для удаления флюса и продуктов пайки и выполняются на механизированных конвейерных линиях.

Испытание и контроль узлов РЭС проводятся с помощью испытательных стендов, специальной аппаратуры, а также с использованием автоматических систем контроля.

При автоматизированной установке ИС, ЭРЭ и деталей используется специализированное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). В этом случае подача компонентов для установки на ПП осуществляется транспортёром из технологических кассет.

После выбора и анализа типовых технологических процесса, операций и сборочного состава разрабатывается схема сборки. Существует два вида техпроцессов сборки блоков РЭС: веерного типа и с базовой деталью.

На технологической схеме сборки указываются операции выполнения электрического монтажа (пайка, сварка, накрутка и др.), механического соединения (свинчивание, склеивание, расклёпка и др.), контроля и герметизации (промывка, сушка, лакирование и др.). На схеме сборки детали, ЭРЭ и технологические операции указываются прямоугольниками, где пишутся наименование, номер по спецификации и количество деталей и ЭРЭ, а также вид технологической операции. В качестве примера на рис. 2.2 приведена технологическая схема сборки блока с базовой деталью. На схеме показана последовательность установки деталей, ИС и ЭРЭ на базовую деталь (печатную плату).

Разработка маршрутного техпроцесса сборки блока выполняется на основе схемы сборки (например, с базовой деталью). Маршрутная карта (МК) техпроцесса сборки и монтажа выполняется в соответствии с ГОСТ 3.1118–82 [5]. Выбор соответствующей формы МК зависит от разрабатываемого вида технологического процесса, назначения формы в составе комплекта документов и применяемых методов проектирования документов. При маршрутном описании технологического процесса МК является одним из основных документов, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности выполнения операций.

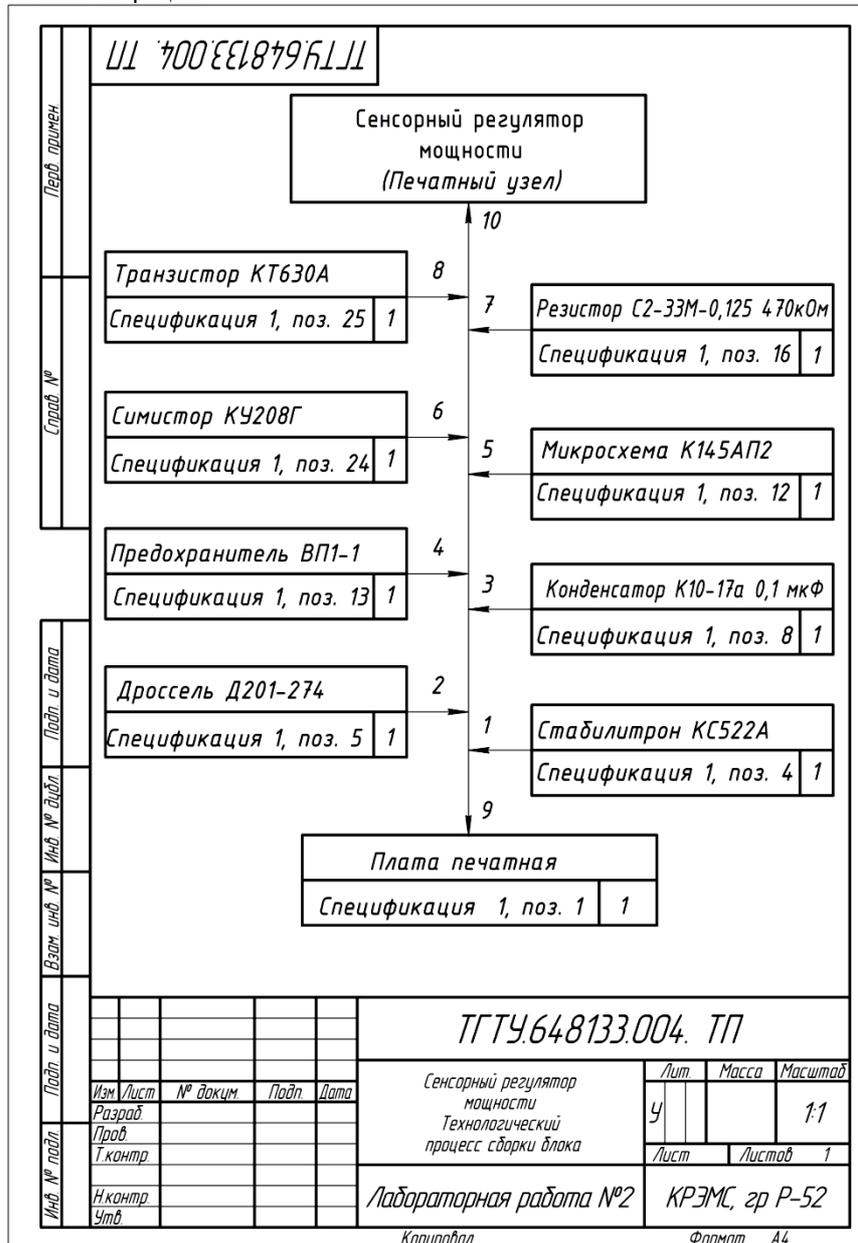


Рис. 2.2. Технологическая схема сборки блока с базовой деталью

В маршрутной карте указывается код (А, Б, О, Т, М), номер (№), наименование и содержание операций.

Маршрутная карта формы № 5 приведена в прил. Д.

На маршрутной карте указывается адресная информация: номер цеха (цех), участка (участок), рабочего места (РМ), операции (Опер.). Приведены обозначения служебных символов для формы с горизонтальным расположением:

А – номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция, номер, код и наименование операции, обозначение документов, применяемых при операции;

Б – код, наименование оборудования и информация по трудозатратам;

О – содержание операции (перехода) и другие, приведённые в ГОСТЗ.1118–82;

Т – информация о применяемой при выполнении операции оснастке;

М – информация о применяемом материале.

Кроме того, в форме 5А приведены следующие обозначения кодов операций, оборудования и документов:

СМ – степень механизации;

Проф. – профиль и размеры;

Р – разряд работы;

КТС – код операции по технологическому классификатору;

КР – количество исполнителей;

КОИД – количество одновременно изготавливаемых (обрабатываемых) деталей при операции;

ЕН – единица нормирования (нормы расхода материалов или времени);

ТПЗ – норма подготовительно-заключительного времени;

ОПЛ – обозначение подразделения, откуда поступают комплектующие (склада, кладовой);

ЕВ – код единицы величины;

КИ – количество деталей и сборочных единиц, применяемых при сборке или разборке;

$N_{\text{рас}}$  – норма расхода материала [5].

### **Методические указания и порядок выполнения работы**

1. Изучить электрическую схему устройства РЭС в соответствии со своим вариантом задания, которое приведено в прил. А.

2. Для заданной электрической схемы выполнить чертёж печатной платы и изготовить печатную плату (домашнее задание).

3. Подготовить сборочный чертёж блока на печатной плате в соответствии с перечнем элементов и сборочным чертежом, разработанным в лабораторной работе 1.

4. Разработать технологический процесс сборки блока на печатной плате и записать его на маршрутных картах по форме прил. Д.

5. В соответствии с разработанным технологическим процессом сборки выполнить следующие технологические операции:

а) осуществить комплектацию электрорадиоэлементов и интегральных схем в соответствии с заданной электрической схемой;

б) выполнить входной контроль электрорадиоэлементов и интегральных схем;

в) подготовить электрорадиоэлементы и интегральные схемы к монтажу в зависимости от способа установки их на печатную плату в соответствии с ОСТ 45.010.030–93;

г) осуществить маркировку компонентов и ПП;

д) выполнить пайку электрорадиоэлементов и интегральных схем следующим образом: нанести на место пайки флюс, на рабочую часть стержня паяльника – припой и приложить его к подготовленному месту соединения на три – пять секунд до момента течения припоя;

е) провести промывку и сушку изготовленного узла РЭС.

### **Содержание отчёта**

1. Принципиальная электрическая схема блока РЭС.

2. Чертёж печатной платы (привести в приложении к отчёту).

3. Схема технологического процесса сборки блока РЭС с базовой деталью на печатной плате (привести в приложении к отчёту).

Вместе с отчётом студент должен представить макет собранного печатного узла.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие этапы включает техпроцесс сборки и монтажа блоков РЭС?

2. Как осуществляется комплектация компонентов при сборке блоков РЭС?

3. В чём заключается подготовка печатных плат к монтажу?

4. Как выполняется процесс пайки?

5. Как осуществляются испытания и контроль готовых блоков РЭС?

6. Какие операции включает типовой технологический контроль сборки узла РЭС на печатной плате?

7. Какие виды технологических процессов сборки блоков РЭС Вы знаете?

8. Как выполняется техпроцесс сборки блока с базовой деталью?

9. Какая документация отражает техпроцесс сборки?

10. Какие виды маршрутных карт Вы знаете?

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ P-CAD ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК И СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

**Цель работы:** изучить пакет программ автоматизированного проектирования печатных плат P-CAD, освоить формат N/C Drill для составления управляющей программы сверления отверстий печатной платы на станке с числовым программным управлением.

### Краткие теоретические сведения

Для обеспечения качества выпускаемых печатных плат необходимо применять автоматизацию технологических процессов их изготовления.

В настоящее время широко используется оборудование с программным управлением. При производстве печатных плат применяются сверлильные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) [2, 6, 7].

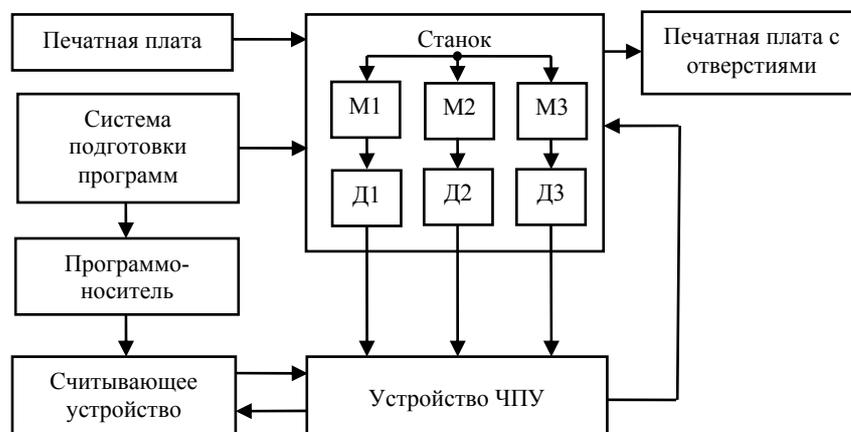
В соответствии с разработанной программой станки с ЧПУ выполняют следующие функции:

- движение исполнительных органов станка;
- изменение скорости их перемещения;
- обеспечение последовательности циклов обработки;
- задание режимов работы и других вспомогательных функций.

Структурная схема станка с ЧПУ представлена на рис. 3.1, где М1–М3 – механизмы станка, которые реализуют операции цикла обработки, Д1–Д3 – датчики служащие для контроля величины перемещений механизмов М1–М3. Информация с программноносителя поступает в считывающее устройство, а затем в устройство числового программного управления, которое формирует управляющие команды на механизмы станка М1–М3. Механизмы реализуют соответствующие движения цикла обработки согласно заданной управляющей программе. Управляющая программа разрабатывается в соответствии с чертежом детали, выбором направления обхода при обработке отверстий, разработанным технологическим процессом. Выбирается режущий инструмент и режим резания. Разработанная управляющая программа записывается на соответствующий носитель информации.

*Структура управляющей программы для станков с ЧПУ.*

1. Программа состоит из кадров. Кадр – это часть программы, которая позволяет реализовать одну операцию.
2. Кадр программы включает переменное число слов, записанных в определённом порядке.



**Рис. 3.1.** Структурная схема станка с ЧПУ

*Комплект документации на технологические процессы и операции, выполняемые на станках с ЧПУ:*

1. Список деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.
2. Эскизы деталей.
3. Карта заказа на разработку управляющей программы.
4. Карта наладки инструмента и кодирования информации.

В качестве примера рассмотрим применение станка с ЧПУ – СМ-600 Ф2. Станок обеспечивает фиксацию предварительно подготовленных заготовок печатных плат, перемещение в зону обработки, сверление или фрезерование с заданной точностью. Система ЧПУ обеспечивает:

- управление станком по заданной программе;
- ввод управляющей программы в память;
- вывод управляющей программы на носитель;
- отображение информации на электронно-лучевой трубке;
- тестирование электронных блоков.

3. Слово – часть кадра, которая содержит информацию о программируемой функции (признак адреса, знак, число и т. д.).

4. Кадр должен содержать его номер и информационные слова.

5. Информационные слова записываются в определённой последовательности в зависимости от реализуемых функций.

6. Слова в кадре представляются по следующей форме: записываются символ адреса (латинская буква), математический знак «плюс» или «минус», последовательность цифр.

Станок СМ-600 Ф2 (рис. 3.2) состоит из гранитного основания (1) на котором размещены: электродвигатель линейный по оси X (2), электродвигатель линейный по оси Y (3), стол (4), блок автоматических манипуляторов (5), панель пневмоаппаратуры (6), панель электрооборудования станка (7), закрытая кожухом (8).

Станок имеет следующие технические характеристики (табл. 3.1).

### 3.1. Технические характеристики станка СМ-600 Ф2

Номинальное напряжение, В	380 ± 10 %
Частота тока, Гц	50
Потребляемая мощность, кВА, не более	4,0
Габаритные размеры обрабатываемых заготовок печатных плат, мм:	
длина min,	120
длина max,	610
ширина, не более	305
Усилие прижима пакета плат, Н	0...150
Частота вращения шпинделя, об/мин	20 000...72 000
Диаметры используемых свёрл, мм	0,3...6,5
Минимальный шаг перемещения, мм:	
по оси X	1,25
по оси Y	1,25
Вид задания графической информации	в абсолютных размерах и в приращениях
Точность сверления, мм	± 0,02
Точность позиционирования по осям, мм	± 0,01
Максимальная скорость перемещения стола, м/мин	15
Габариты, мм:	
длина	1420
ширина	1605
высота	1520
Масса, кг, не более	3500

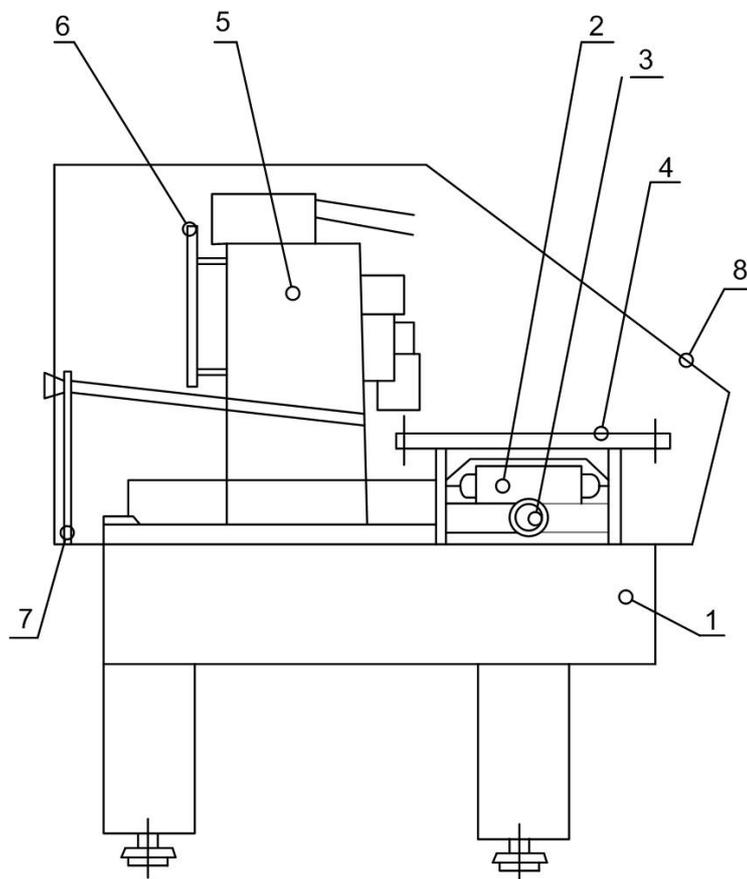


Рис. 3.2. Станок СМ-600 Ф2

*Описание САПР P-CAD [8].*

Система P-CAD предназначена для сквозного проектирования многослойных печатных плат (ПП) электронных устройств. В состав P-CAD входят четыре основных модуля – P-CAD Schematic, P-CAD PCB, P-CAD Library Executive, P-CAD Autorouters и ряд других вспомогательных программ.

P-CAD Schematic и P-CAD PCB – соответственно графические редакторы принципиальных электрических схем и ПП. Редакторы имеют системы всплывающих меню в стиле Windows, а наиболее часто применяемым командам назначены пиктограммы.

Редактор P-CAD PCB может запускаться автономно и позволяет разместить элементы на выбранном монтажно-коммутационном поле и проводить ручную, полуавтоматическую и автоматическую трассировку проводников. Если P-CAD PCB вызывается из редактора P-CAD Schematic, то автоматически составляется список соединений схемы и на поле ПП переносятся изображения корпусов компонентов с указанием линий электрических соединений между их выводами. Эта операция называется упаковкой схемы на печатную плату. Затем вычерчивается контур ПП, на нем размещаются компоненты и, наконец, производится трассировка проводников.

Применение шрифтов True Type позволяет использовать на схеме и ПП надписи на русском языке.

Автотрассировщики вызываются из управляющей оболочки P-CAD PCB, где и производится настройка стратегии трассировки. Информацию об особенностях трассировки отдельных цепей можно с помощью стандартных атрибутов ввести на этапах создания принципиальной схемы или ПП. Первый трассировщик QuickRoute относится к трассировщикам лабиринтного типа и предназначен для трассировки простейших ПП. Второй автоматический трассировщик PRO Route трассирует ПП с числом сигнальных слоёв до 32. Трассировщик Shape-Based Autorouter – бессеточная программа автотрассировки ПП. Программа предназначена для автоматической разводки многослойных печатных плат с высокой плотностью размещения элементов. Эффективна при поверхностном монтаже корпусов элементов, выполненных в различных системах координат. Имеется возможность размещения проводников под различными углами на разных слоях платы, оптимизации их длины и числа переходных отверстий.

Document Toolbox – дополнительная опция P-CAD PCB и P-CAD Schematic для размещения на чертежах схем или ПП различных диаграмм и таблиц, составления различных списков и отчётов, которые динамически обновляются, таблиц сверловки, данных о структуре платы, технологической и учётной информации, размещения на чертежах схем списков соединений, выводов подключения питания и другой текстовой информации. Программа предназначена для расширения возможностей выпуска технической документации без использования чертёжных программ типа AutoCAD. Document Toolbox позволяет автоматизировать создание конструкторской документации, необходимой для производства проектируемых ПП.

SPECCTRA – программа ручного, полуавтоматического и автоматического размещения компонентов и трассировки проводников. Трассирует ПП большой сложности с числом слоёв до 256. В программе используется так называемая бессеточная Shape-Based – технология трассировки. За счёт этого повышается эффективность трассировки ПП с высокой плотностью размещения компонентов, а также обеспечивается трассировка одной и той же цепи трассами различной ши-

рины. Программа SPECCTRA имеет модуль AutoPlace, предназначенный для автоматического размещения компонентов на ПП. Вызов программы производится автономно из среды Windows или из программы P-CAD PCB.

P-CAD Library Executive – менеджер библиотек. Интегрированные библиотеки P-CAD содержат как графическую информацию о символах и типовых корпусах компонентов, так и текстовую информацию (число секций в корпусе компонента, номера и имена выводов, коды логической эквивалентности выводов и т.д.). Программа имеет встроенные модули: Symbol Editor – для создания и редактирования символов компонентов и Pattern Editor – для создания и редактирования посадочного места и корпуса компонента. Упаковка вентиля компонента, ведение и контроль библиотек осуществляются модулем Library Executive. Модуль имеет средства просмотра библиотечных файлов, поиска компонентов, символов и корпусов компонентов по всем возможным атрибутам.

Вспомогательные утилиты, образующие интерфейс DBX (Data Base Exchange), в частности, производят перенумерацию компонентов, создают отчеты в требуемом формате, автоматически создают компоненты, выводы которых расположены на окружности или образуют массив, рассчитывают паразитные параметры ПП и т.п.

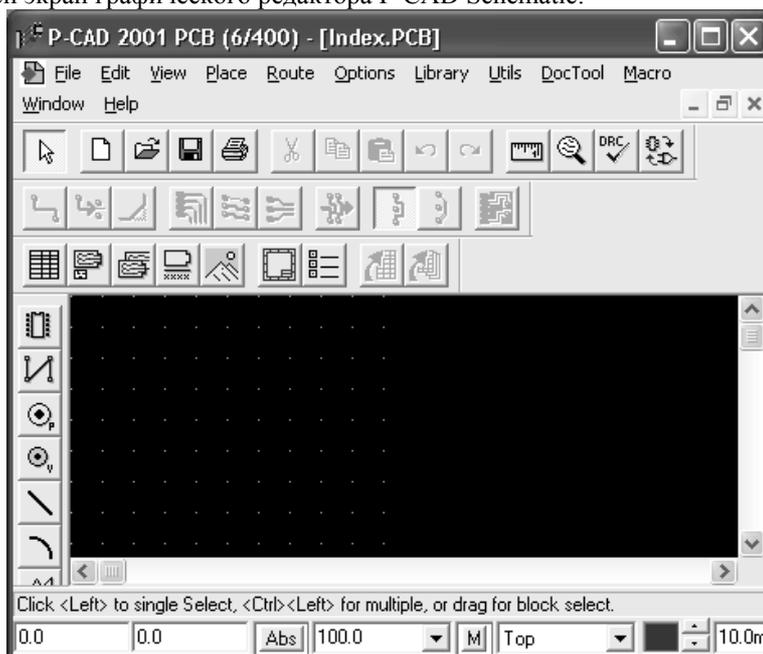
Графический редактор печатных плат P-CAD PCB имеет следующие характеристики:

- до 99 слоев в ПП, из них 11 слоев предварительно определены;
- максимальный размер ПП 60 × 60 дюймов;
- автоматическая коррекция принципиальных схем по изменениям в печатной плате и наоборот (коррекция «назад» и «вперед»);
- до 64 000 типов контактных площадок в проекте;
- ширина проводника на ПП до 10 мм;
- до 64 000 стилей стеков контактных площадок в проекте;
- контактные площадки различных форм: эллипс, овал, прямоугольник, скругленный прямоугольник, сквозное переходное отверстие, перекрестье для сверления (target), непосредственное соединение, тепловой барьер с двумя или четырьмя перемычками;
- контроль соблюдения зазоров и полноты разводки ПП;
- минимальный дискрет угла поворота текста и графических объектов – 0,1 град;
- поддержка управляющих файлов фотоплоттеров Gerber и сверлильных станков с ЧПУ Excellon.

*Интерфейс пользователя.*

Графические редакторы P-CAD имеют похожие интерфейсы и системы меню команд.

На рис. 3.3 представлен экран графического редактора P-CAD Schematic.



**Рис. 3.3. Рабочий экран P-CAD Schematic**

Горизонтальная панель инструментов содержит пиктограммы системных команд, а вертикальная панель – команды размещения объектов на рабочем поле экрана.

В поле рабочего окна располагают символы принципиальных схем и собственно схемы, составленные из символов, электрических соединений, шин и т.п.

Вторая строка снизу на экране – строка сообщений.

Самая нижняя строка – строка состояний. Значения полей строки состояния перечисляются ниже.

Координаты X и Y. Числа в полях указывают текущие координаты курсора. Перемещение курсора в заданную пользователем точку производится следующим образом. Если активизирован режим выбора объекта (команда Edit/Select), то нажатие клавиши J передает управление полю X. На клавиатуре можно набрать значение координаты X, затем нажать клавишу Tab, набрать значение координаты Y и нажать клавишу Enter. В результате указанных действий курсор перемес-

тится в заданную точку. Если выбрана одна из команд размещения Place, то можно указанными выше операциями разместить объект в заданную точку.

Значения координат вводят в милах (mil), миллиметрах (mm) или в дюймах (inch). Выбор системы единиц измерения производится при выполнении команды Options/Configure/Units. Если координаты точки заданы в mil, то точность – один десятичный знак, а если в мм – три десятичных знака после запятой.

Кнопки переключения типа сетки ABS и Rel. Абсолютная сетка ABS имеет начало координат в нижнем левом углу рабочей области экрана. Относительная сетка Rel имеет начало координат в точке, указанной пользователем. Сетка Rel включается в том случае, если в окне команды Options/Grids активен режим Prompt for Origin. Значение шага сетки устанавливается при нажатии на кнопку выбора (стрелка), находящуюся справа от поля шага сетки. А набор шагов сеток устанавливается в поле Grid Spacing после выполнения команды Options/Grids.

При активизации кнопки записи макрокоманд M (или клавиши M) начинается запись во временный файл всех выполняемых команд. Повторное нажатие кнопки M (или клавиши M) прекращает запись файла с именем \_default.mac. Этот файл доступен только в течение текущего сеанса.

Поля текущего имени схемы и кнопка выбора имени листа отражают установки, проведенные по команде Options/Sheets в закладке Sheets. Все листы схемы одного проекта содержатся в одном файле с расширением .sch. Добавление листов в проект осуществляется командой Options/Sheets/ Sheets/Add.

Поля ширина линии и выбор ширины линии дублируют команду Options/CurrentLine. Для добавления в список новой толщины линии необходимо щелкнуть по кнопке Line Width и ввести новое значение толщины линии. Тип линии устанавливается командой Options/ Current Line в области Style диалогового окна.

В строке сообщений (справа от кнопки выбора ширины линий) отображается следующая текущая информация:

- тип, позиционное обозначение или общее количество выбранных объектов;
- значения приращений по осям  $X$  и  $Y$  при перемещении выбранных объектов;
- имя выбранной цепи;
- расстояние между выбранными точками и их проекции на оси  $X$  и  $Y$  при выполнении команды Edit/Measure.

*Размещение контактных площадок и пакетов контактных площадок.*

Каждый элемент создается индивидуально и хранится в библиотеке.

Выводы, встроенные в элемент, указывают точки соединения с платой. Контактные площадки – это медные площадки на плате, соединяющие выводы с другими устройствами. В технологии сквозного сверления это точки, в которых печатные проводники соединяются с выводами и переходами, позволяя сигналу проходить с одной стороны платы на другую (контактные площадки также крепят элементы на печатную плату).

Символ сверления для каждого различного размера отверстия создается отдельно. Можно создавать множество файлов пакетов контактных площадок для различных производственных требований.

Программа сверления разрабатывается при помощи САПР P-CAD. Структура программы следующая [9]:

1. M48 – код начала программы, далее располагается заголовок (header) программы состоящий из нескольких строк, содержащих информацию об используемой системе измерения, формате представления чисел и применяемом инструменте.

2. % – признак окончания заголовка и начала исполнения программы.

3. Выбор инструмента описывается символом T, который соответствует выбору сверла определённого диаметра, описанному в заголовке программы.

4. Для задания перемещения используются информационные слова ( $X$ ,  $Y$ ) для перемещения соответственно по осям  $X$ ,  $Y$ .

5. После информационных слов ( $X$ ,  $Y$ ) без пробела вводится размер приращения, который может быть как положительным, так и отрицательным.

6. Заканчивается программа кодом окончания программы – M30, обычно также перед окончанием программы останавливают вращение всех свёрл – команда T00.

Формат исполняемой программы N/C Drill станков Excellon наиболее близок к формату используемых сейчас на российских предприятиях станков с ЧПУ.

В качестве примера приведены простейшая программа и соответствующая ей печатная плата, представленная на рис. 3.4.

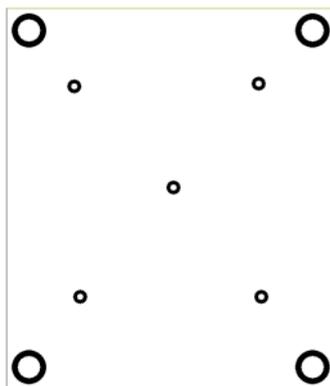


Рис. 3.4. Печатная плата с отверстиями

M48 – начало программы;  
 METRIC,0000.00 – выбор метрической системы и формата представления чисел;  
 T01C3.00 – первое сверло с диаметром 3 мм (С – означает выбор диаметра);  
 T02C10.00 – второе сверло с диаметром 10 мм;  
 % – конец заголовка, начало исполнения;  
 T01 – инструментом T01;  
 X+007250Y+014125 – сверлим 5 отверстий по координатам;  
 X+015250  
 X+007000Y+023500  
 X+011375Y+019000  
 X+015125Y+023625  
 T02 – инструментом T02;  
 X+005000Y+011000 – сверлим 4 отверстия по координатам;  
 Y+026000  
 X+017500Y+011000  
 Y+026000  
 T00 – останавливаем шпиндели всех сверл;  
 M30 – конец программы.

### Методические указания и порядок выполнения работы

1. Изучить исходную плату устройства, рассмотренного (для соответствующего варианта) в лабораторных работах 1 и 2.
2. Выделить отверстия с одинаковыми диаметрами контактных площадок и отверстий, отнеся их к одной группе. Измерить диаметры отверстий и контактных площадок.
3. Запустить программу PCB из пакета P-CAD, ярлык которой находится в меню «Пуск» или на рабочем столе Windows.
4. Задать границы чертежа: в меню Options подменю Configure, закладка General установить флажок Units в положение mm, Workspace Size– 210x297 mm (A4) (рис. 3.5).
4. Команда Grids в меню Options показывает сетку, которая может выглядеть как в виде точек (Dotted), так и в виде клеток (Hatched), шаг сетки может быть задан пользователем (1,25; 2,5 ...). Рекомендуем установить шаг 1,25 мм (рис. 3.6).

Примечание. Пользователь может менять шаг сетки по своему усмотрению, например при вычерчивании границ печатной платы целесообразно использовать более крупную сетку и, наоборот, при вычерчивании каких то мелких деталей можно уменьшать шаг сетки, желательно кратно 2,5 мм.

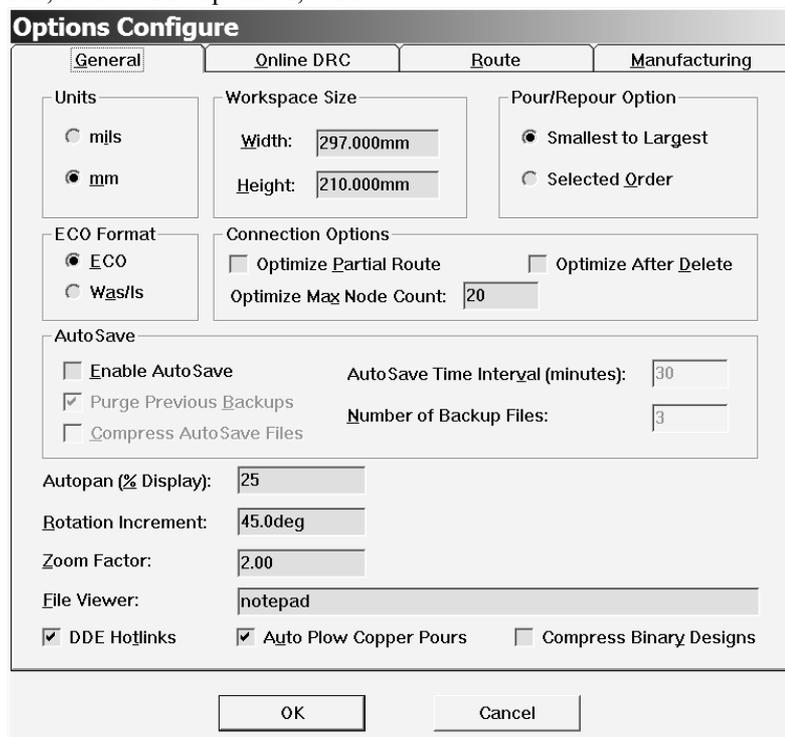


Рис. 3.5. Задание конфигурации чертежа

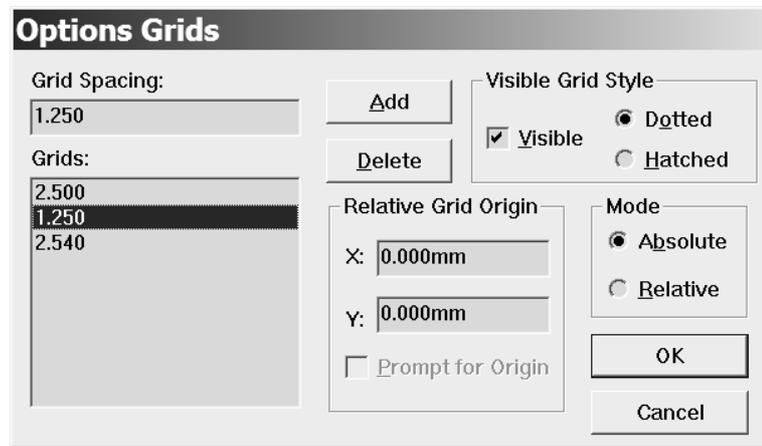


Рис. 3.6. Задание параметров сетки

5. Задавать границы печатной платы необходимо в слое Board, вычерчивая их при помощи команды Place/line (рис. 3.7).

В правом нижнем углу можно посмотреть длины уже вычерченной линии (рис. 3.8).

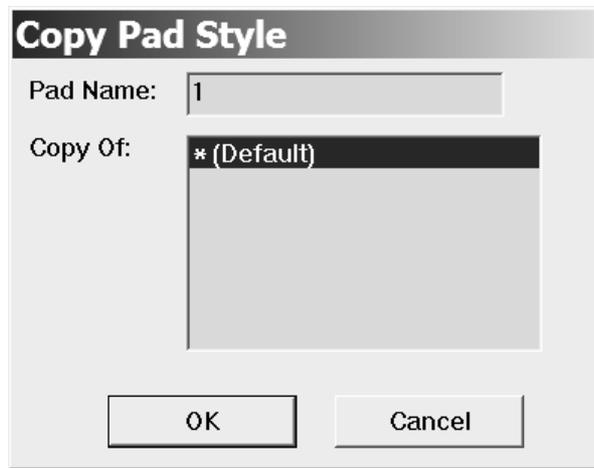
6. Для расстановки контактных площадок необходимо определить все типы отверстий, встречающиеся на заданной плате. Для этого необходимо войти в меню Options, подменю Pad Style. При нажатии кнопки Copy задаётся имя для группы отверстий (рис. 3.9).



Рис. 3.7. Изменение рабочего слоя



Рис. 3.8. Просмотр длины начерченной линии

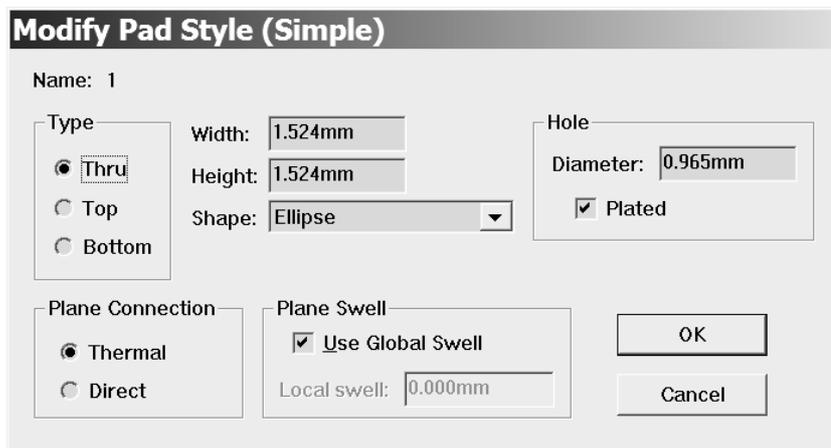


**Рис. 3.9. Создание группы отверстий**

Нажать на ОК. После этого открыть Modify (Simple). В появившемся окне есть несколько областей. В данном случае нас интересуют:

- Diameter – задание диаметра монтажного отверстия;
- Shape – форма контактной площадки;
- Width, Height – длина и ширина контактной площадки.

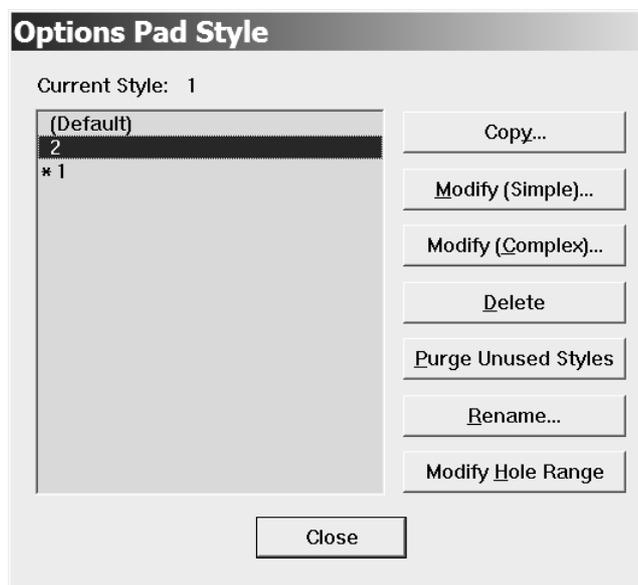
Для получения круглой контактной площадки необходимо выбрать форму Ellipse, а длину и ширину задать равной диаметру контактной площадки (рис. 3.10).



**Рис. 3.10. Задание параметров для группы отверстий**

В области Hole задать диаметр проходного отверстия и нажать на ОК. Для задания следующей группы площадок необходимо нажать Copy и повторить указанную выше последовательность действий.

7. В меню Place выбрать команду Pad в соответствии с расположением на исходной плате отверстий текущей группы. Для смены текущей группы необходимо воспользоваться меню Options, подменю PadStyle (рис. 3.11).



**Рис. 3.11. Смена группы контактных площадок**

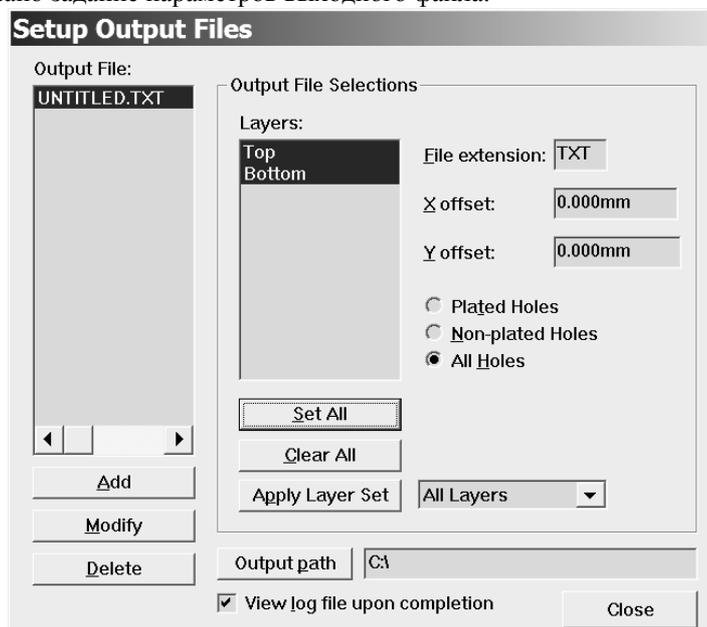
8. После установки всех отверстий на плату необходимо сохранить полученный чертёж (File/Save as ...).

9. Для генерации программы сверления отверстий необходимо воспользоваться пакетом PCDrill, для чего в меню File, подменю Export выбрать N/C Drill и в появившемся окне выполнить следующие действия:

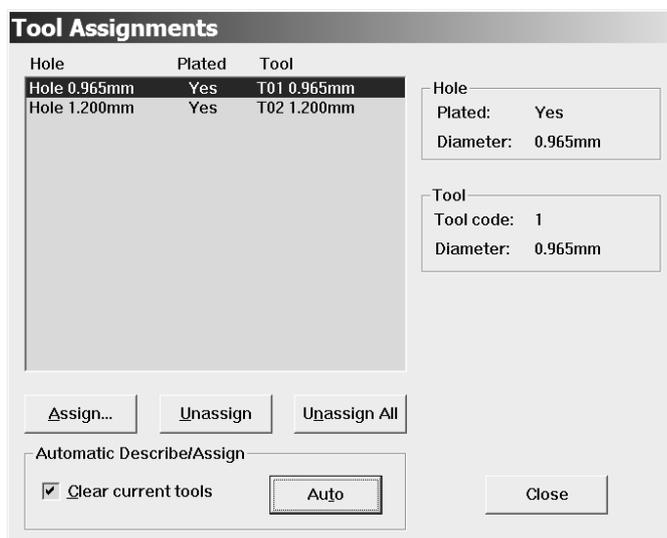
- нажать Setup Output Files (установить выходной файл);
- нажав File extensions, ввести расширение, которое будет присвоено выходному файлу (например, TXT);
- нажав Output Path, задать каталог, в который будет записан сгенерированный файл.

В окне Layers необходимо щёлкнуть Set All (выбрать все слои) и пометить All Holes (все отверстия).

В окне на рис. 3.12 показано задание параметров выходного файла.



**Рис. 3.12. Задание параметров выходного файла**



**Рис. 3.13. Задание параметров свёрл и их кодов**

После чего нажать Add и закрыть окно. В меню Tools задаются параметры свёрл и их коды. При нажатии кнопки Auto диаметры свёрл для каждой группы назначаются автоматически (рис. 3.13).

В меню N/C Drill Format задаётся формат выходного файла:

- Output units (выходное пространство) – в миллиметрах;
- Out Code type (кодировка выходного файла) – текстовый (ASCII None);
- Zero Suppression (нулевое подавление) – линейное и нелинейное (установить None).

Задание формата выходного файла показано на рис. 3.14.

После чего закрыть окно и нажать Generate Output Files (рис. 3.15).

10. По указанному пути (Output Path) открыть полученный файл при помощи блокнота notepad и распечатать на принтере.



Рис. 3.14. Задание формата выходного файла

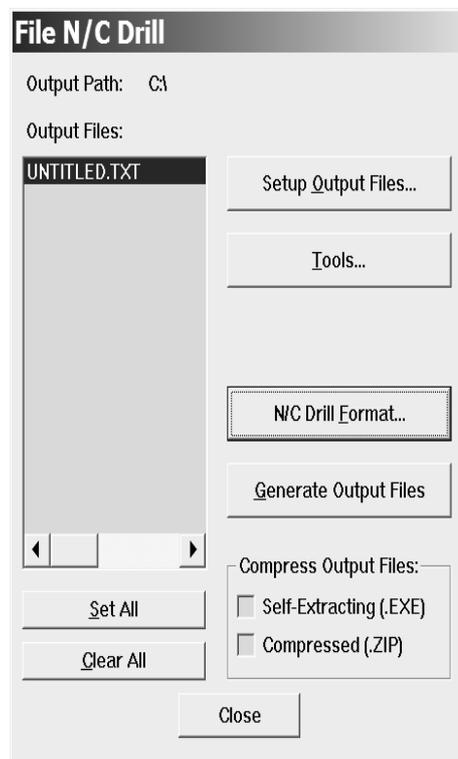


Рис. 3.15. Создание выходного файла

### Содержание отчёта

1. Цель лабораторной работы.
2. Представить чертёж исходной платы устройства. Указать выделенные группы отверстий.
3. В прил. А к отчёту по лабораторной работе привести принципиальную электрическую схему устройства.
4. В прил. Б к отчёту по лабораторной работе представить чертёж печатной платы.
5. В прил. В к отчёту по лабораторной работе привести текст полученной программы с использованием САПР P-CAD для размещения контактных площадок и сверления отверстий печатных плат на станках с ЧПУ.
6. Выводы о результатах лабораторной работы.

### Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют станки с числовым программным управлением?
2. Как устроен станок с ЧПУ?
3. Что включает структура управляющей программы для станков с ЧПУ?
4. Что входит в комплект документации на техпроцессы, выполняемые на станках с ЧПУ?
5. Какие операции выполняются в программе САПР P-CAD?
6. Что включает структура управляющей программы для станков с ЧПУ в формате N/C Drill?

## КОНТРОЛЬ, РЕГУЛИРОВКА И НАСТРОЙКА БЛОКА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

**Цель работы:** разработать технологическую инструкцию по проверке и настройке блока радиоэлектронного средства, осуществить функциональный контроль и настройку блока.

### Краткие теоретические сведения

Контроль радиоэлектронного средства заключается в получении информации о параметрах и характеристиках РЭС для оценки качества РЭС в процессе его производства.

Регулировка и настройка – это технологические операции, в результате проведения которых параметры и характеристики блоков РЭС должны соответствовать техническому заданию на их изготовление, включая технические условия (ТУ) эксплуатации.

Для выполнения операций контроля, регулировки и настройки разрабатывается технологическая инструкция в соответствии с ЕСТД – единой системой технологической документации. Технологическая инструкция имеет следующее содержание:

- 1) оборудование рабочего места;
- 2) описание и состав измерительной и регулировочной аппаратуры;
- 3) перечень инструментов и оснастки;
- 4) методика контроля, регулировки и настройки;
- 5) проверка работоспособности и качества блока РЭС;
- 6) требования охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

Технологическому контролю подлежат заготовки, детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты, технологические процессы, материалы.

Различают следующие виды контроля [1]:

- 1) входной, при котором проверяется соответствие качества выпускаемого продукта требованиям, указанным в техническом задании на изготовление, в стандартах, ТУ (проводится спецотделом предприятия – потребителя);
- 2) операционный контроль включает процедуры выявления соответствия параметров и характеристик выпускаемого изделия при выполнении каждой операции технологического процесса изготовления (осуществляется отделом технического контроля (ОТК) или исполнителем техоперации);
- 3) приёмочный контроль осуществляется мастером ОТК, контролёром и представителем заказчика для установления качества готового продукта и его соответствия требованиям технического задания на изготовление, соответствующих ГОСТ и Заказчика.

При технологическом контроле на предприятии ОТК осуществляет выборочный и сплошной контроль продукции, который может быть непрерывным, выборочным или летучим (для незначительных изделий).

Виды настройки и регулировки РЭС: заводская и эксплуатационная.

Методы регулировки РЭС:

- 1) метод электрического копирования (сравнение с образцом);
- 2) использование измерительной аппаратуры.

Этапы настройки и регулировки РЭС:

- 1) проверка правильности монтажа по разработанным монтажным картам;
- 2) тряска на вибростенде для определения дефектов соединений;
- 3) проверка режимов работы полупроводниковых приборов и микросхем по электрокалибровочным картам;
- 4) настройка и регулировка всего изделия.

### Методические указания и порядок выполнения работы

Данная лабораторная работа является продолжением начатых исследований и экспериментов, проведённых в первых трёх лабораторных работах.

Для одной из электрических схем, приведённых в прил. А настоящего учебного пособия в соответствии с заданным вариантом студенты изготовили печатную плату, разработали технологический процесс сборки блока на печатной плате, подготовили электрорадиоэлементы и интегральные схемы к монтажу и выполнили пайку элементов на печатной плате. Далее необходимо осуществить контроль, проверку и настройку данного блока.

Технологические операции функционального контроля, проверки и настройки блока записать в технологическую инструкцию, в которой отразить следующие данные и операции:

1. Оборудование рабочего места: принципиальная рабочая схема устройства, блок стабилизированного питания, осциллограф типа GOS-620, генератор типа GFG-8216A, мультиметр GDM-8135.
2. Требования безопасности:
  - а) прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить руководство по эксплуатации измерительного прибора;
  - б) запрещается снимать при работе с прибором защитный кожух;
  - в) необходимо заземлить корпус прибора перед подключением к источнику питания;
  - г) после выключения прибора нельзя касаться высоковольтных конденсаторов в течение 5 – 7 минут;
  - д) после выполнения лабораторной работы необходимо выключить используемый в работе источник питания;
  - е) при работе с измерительными приборами следует использовать изолирующий материал на полу Вашего рабочего места.

3. Операции единичного процесса контроля (для изделия одного наименования, типоразмера и исполнения):  
а) определение марки материала печатной платы;  
б) проверка комплектности электрорадиоэлементов и интегральных микросхем;  
в) для сборочной единицы выполнить контроль геометрических и функциональных параметров;  
г) контроль качественных и количественных характеристик на их соответствие требованиям нормативно-технической документации для данного изделия.

4. Операции регулировки и настройки блока:

а) регулировку осуществить по методу использования измерительных приборов;  
б) выявить некачественные соединения и пайку;  
в) проверить правильность монтажа в соответствии с электрической схемой по предварительно составленным картам или таблицам, охватывающим все цепи проверяемого устройства, начиная с источника питания;  
г) проверить режимы работы полупроводниковых приборов и интегральных микросхем по электрокалибровочным картам и справочным данным;

д) провести проверку функционирования устройства в целом и регулировку и настройку для получения заданных характеристик устройства в соответствии с техническим заданием;

е) регулировку и настройку проводить по электрической схеме с учётом требований технического задания и технических условий эксплуатации, при единичном процессе регулировки и настройки допускается замена установленных элементов, подбор полупроводниковых приборов, интегральных микросхем, резисторов, конденсаторов и других элементов, заранее предусмотренных в схеме, для получения оптимальных параметров.

В соответствии с составленной технологической инструкцией провести контроль, регулировку и настройку устройства согласно заданному варианту:

1) подключить к устройству источник стабилизированного питания, предварительно установив требуемое для данного устройства напряжение;

2) подсоединить измерительные приборы (цифровой мультиметр, цифровой генератор, осциллограф) к соответствующим клеммам входа и выхода устройства;

3) на лицевой панели измерительных приборов установить необходимые пределы измерений контролируемой величины;

4) включить (кнопка «сеть») измерительные приборы и источник питания;

5) записать технические характеристики входного сигнала блока по данным генератора, мультиметра и осциллографа – частоту, амплитуду и период следования импульсов (для электрических схем из прил. А1, А5, А6);

6) зарисовать осциллограмму входного сигнала блока (для схем из прил. А1, А5, А6);

7) записать технические характеристики выходного сигнала блока по данным мультиметра и осциллографа – частоту, амплитуду и период следования импульсов (для схем из прил. А1, А5, А6);

8) зарисовать осциллограммы выходного сигнала блока (для схем из прил. А1, А5, А6);

9) записать выходные технические характеристики устройств из прил. А1, А3, А4, А7, А8 с помощью цифрового мультиметра и осциллографа;

10) проверить соответствие выходных технических характеристик контролируемых, регулируемых и настраиваемых блоков техническому заданию на разработку и изготовление этих блоков;

11) в случае, если технические характеристики и параметры блоков отличаются от указанных в техническом задании на разработку и изготовление блока, то необходимо повторить контроль, регулировку и настройку блока в соответствии с пунктами в – к и разработанной технологической инструкцией;

12) сделать вывод о соответствии параметров и характеристик изготовленного блока радиоэлектронного устройства нормативно-технической документации, техническому заданию на изготовление этого блока.

#### **Содержание отчёта**

1. Цель лабораторной работы.
2. Электрическая схема устройства.
3. Описание электрической схемы устройства.
4. Технологическая инструкция по контролю, регулировке и настройке блока.
5. Технические параметры и характеристики входного сигнала блока.
6. Технические параметры и характеристики выходного сигнала блока.
7. Выводы о работоспособности блока и о соответствии его технических характеристик требованиям, изложенным в нормативно-технической документации, техническом задании на изготовление блока.
8. Перечень элементов к электрической схеме устройства (привести в прил. А к отчёту по лабораторной работе).

#### **Контрольные вопросы**

1. Какие операции выполняются при регулировке и настройке блоков РЭС?
2. Какими методами осуществляется регулировка и настройка?
3. Какие известны виды регулировок?
4. Из каких операций состоит процесс регулировки?
5. Для каких целей используются технологические карты?
6. Какие данные и операции включает технологическая инструкция?
7. Какие требования безопасности необходимо соблюдать при выполнении лабораторной работы?
8. Как осуществляется технологический контроль готовых изделий?
9. Какие виды контроля проводят при производстве изделий РЭС?

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕНЫ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

**Цель работы:** осуществить контроль работоспособности типовых элементов замены (ТЭЗ) методом тестового контроля. Изучить принцип действия и устройство установки тестового контроля.

### Краткие теоретические сведения

При производстве радиоэлектронных средств, отвечающих требованиям качества применительно к рассматриваемому РЭС, необходимо использование соответствующих средств контроля параметров исходных материалов, комплектующих компонентов, режимных параметров технологических операций, качества монтажных соединений электрорадиоэлементов (ЭРЭ), интегральных микросхем, блоков, узлов, а также применение средств контроля работоспособности блоков, узлов и в целом всего радиоэлектронного средства.

В зависимости от цели и вида объекта контроля, условий эксплуатации, средств контроля (лабораторные или производственные), типа производства, требований по точности, надёжности и времени проведения контроля различают следующие средства контроля: автоматические, автоматизированные и контроль оператором [4].

При контроле качества радиоэлектронного средства определяются параметры и характеристики блоков, модулей и узлов РЭС при подаче тестовых сигналов заданного вида. Если параметры РЭС отличаются от указанных в нормативно-технической документации для контролируемого РЭС, то осуществляется диагностика неисправностей составляющих модулей, блоков и узлов РЭС. При этом определяются их параметры в контрольных точках и делается вывод о исправности РЭС. Эта процедура длительная, особенно для многокомпонентных объектов, требует участия оператора и связана с повышением затрат на проведение процессов контроля РЭС.

Как правило, средства контроля с участием оператора применяются для контроля РЭС в лабораторных условиях. В крупносерийных и массовых производствах используются автоматические системы контроля. При этом снижаются затраты на процессы контроля параметров и характеристик объектов, возрастает надёжность контроля.

В настоящее время широко применяются гибкие автоматизированные производства, которые повышают требования к средствам контроля. Одним из путей решения этой проблемы является интеллектуализация средств контроля. Для этого необходимо решить задачу распознавания образов (объектов контроля) для рассматриваемой информационной ситуации и разработать алгоритм функционирования автоматической системы контроля с использованием в ней системы допускового контроля (СДК). В СДК закладываются допустимые диапазоны параметров для данного вида радиоэлектронного средства и в процессе контроля происходит сравнение измеренных параметров с допустимыми в СДК. Определение параметров в модулях, блоках и узлах РЭС осуществляется специализированными измерительными датчиками, информация с которых поступает в систему допускового контроля, далее обрабатывается в автоматической системе контроля с помощью персонального компьютера. Затем результаты сравнения с допустимыми значениями параметров и информация о контроле исправности радиоэлектронного средства поступает пользователю.

Для контроля качества печатных плат, пайки и установки электрорадиоэлементов и интегральных микросхем, выполнения жгутовых соединений применяются оптические и рентгеновские методы.

Оптические методы заключаются в визуальном контроле дефектов качества монтажа компонентов и узлов [10].

Известны также оптические установки контроля, в которых осуществляется видеоконтроль на основе сравнения изображений контролируемой и образцовой печатных плат.

В серийном и массовом производствах применяются автоматизированные системы технического зрения, принцип действия которых основан на сравнении цифровых изображений контролируемого объекта, хранящихся в памяти системы, и сканируемых системой.

Рентгеновский метод контроля дефектов реализуется с помощью установок рентгеновского излучения.

Контроль электрических параметров радиоэлектронного средства осуществляется с помощью измерительных приборов, установок тестового контроля и диагностических устройств.

При контроле параметров элементов на печатной плате используются специальные зондовые головки-адаптеры и «летающие зонды» [10].

Зондовые головки-адаптеры включают более 5000 зондов и размещаются с двух сторон печатной платы. Обеспечение высокой производительности контроля (более 10 000 точек/с) позволяет одновременно проводить сборочные, монтажные и контрольные операции (в основном в массовом и серийном производствах).

Контроль качества цифровых устройств на современной элементной базе осуществляется в основном с использованием программных и аппаратных методов, в частности, установок тестового контроля.

Процессы регулировки и настройки устройств на интегральных микросхемах практически отсутствуют. Поэтому, если не работает устройство, конструктивно состоящее из нескольких печатных плат, то помещая поочередно печатные платы в установку тестового контроля (УТК), можно определить неисправную плату. В этом случае в установке тестового контроля программным способом реализуется алгоритм поиска неисправностей, основанный на сравнении выходных сигналов с контрольных точек платы с тестовыми сигналами в УТК. Если сигналы с печатной платы не совпадают с тестовыми сигналами УТК, то плата неисправна.

Следующей задачей в рассматриваемом примере является поиск неисправностей интегральной микросхемы на нерабочей печатной плате. Для этого случая в установке тестового контроля предусмотрен алгоритм поиска неисправного элемента (микросхемы) на печатной плате. Индикация выходных сигналов с интегральных микросхем осуществляется с помощью светодиодов. Наличие светодиодной индикации соответствует высокому логическому уровню, отсутствие индикации – низкому логическому уровню. Таким образом, пользователь может определить неисправный элемент в результате сравнения уровней выходных сигналов интегральных микросхем по светодиодной индикации этих уровней сигналов с уровнями сигналов рассматриваемых интегральных микросхем, указанных в контрольных картах нормативно-технической документации контролируемого устройства.

### Методические указания и порядок выполнения работы

Установка тестового контроля (рис. 5.1) предназначена для проверки работоспособности печатной платы с 48-ю контактами. Установка обеспечивает подачу на контакты типовых элементов замены необходимых логических уровней с последующим контролем реакции на выводах ТЭЭ.

К установке тестового контроля подключается стабилизированный блок питания, с которого подаётся напряжение плюс 5 В.

На рис. 5.1 введены следующие обозначения:

- 1 – разъём для подключения ТЭЭ;
- 2 – выключатель питания;
- 3 – переключатель сигнальных светодиодов в положения «вход-выход»;
- 4 – сигнальные светодиоды;
- 5 – установка контактов стенда в положения «вход-выход»;
- 6 – установка на входе логического нуля или единицы.

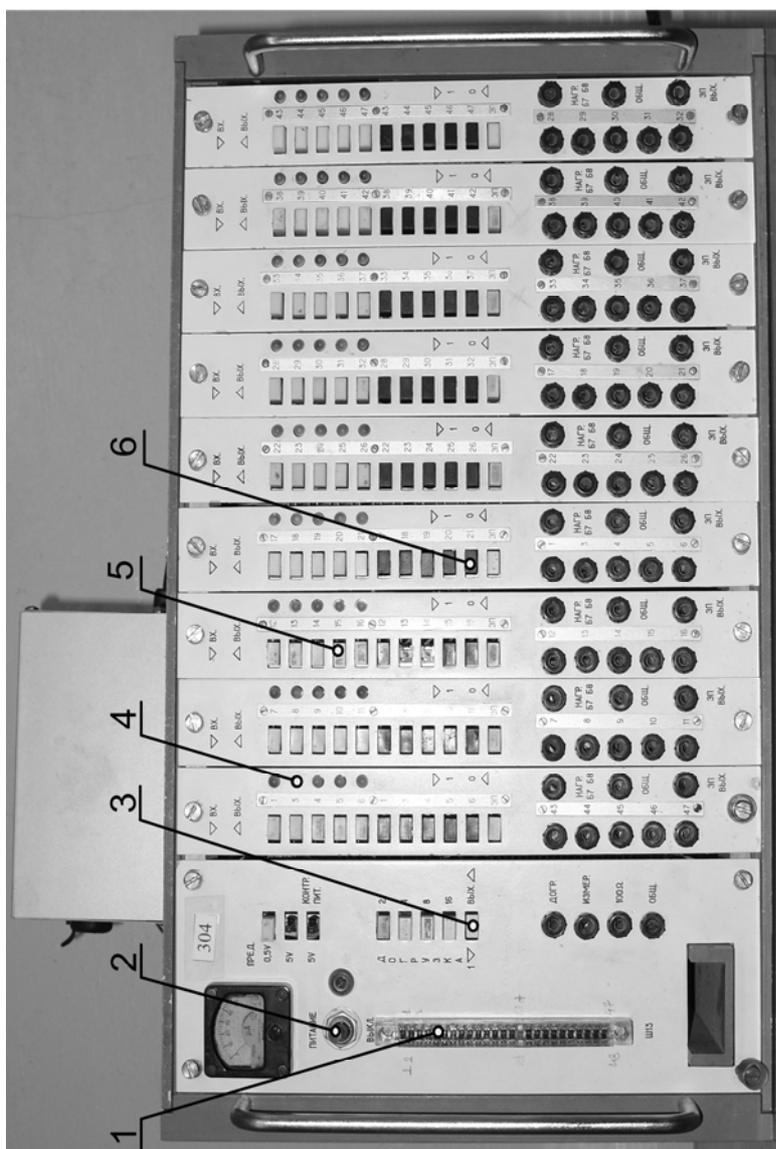


Рис. 5.1. Установка тестового контроля

На рис. 5.1 показан также внешний вид лицевой панели установки тестового контроля. На лицевой панели имеются 45 белых кнопок 5 (максимальное число информативных контактов на ТЭЗ – 45, остальные 2 – питание и 1 – не используются), которые устанавливают контакты в разъеме стенда 1 в режим входа или выхода. Рядом с каждой кнопкой находится номер контакта, соответствующего номеру входа или выхода на электрической схеме. Нажатая кнопка соответствует входу, а отжатая – выходу. Черные кнопки 6 осуществляют подачу на выводы ТЭЗ высоких или низких логических уровней, выбор уровня на входе производится соответствующей кнопкой с присвоенным ей номером. Отжатая кнопка – низкий уровень, нажатая – высокий. Контроль за состоянием выходов производится с помощью светодиодов 4. Кнопка 3 служит для переключения сигнальных светодиодов в положения «вход-выход», т.е. при отжатой кнопке светятся все светодиоды, соответствующие контактам которых в положении «выход», а при нажатой в состоянии вход. Для светодиодов в состоянии «вход» свечение соответствует высокому логическому уровню, негорящий светодиод – низкому логическому уровню. Остальные элементы в лабораторной работе не участвуют, поэтому их назначение не описывается.

На рис. 5.2 показана нумерация кнопок на тестируемой плате, служащих для задания варианта.

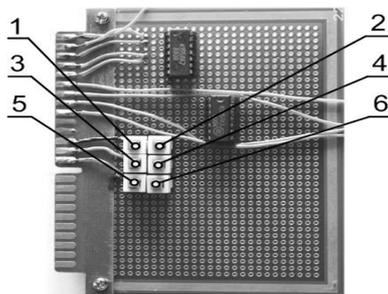


Рис 5.2. Нумерация кнопок на тестируемой плате (ТЭЗ)

Для выполнения работы необходимо:

1. Ознакомиться с установкой тестового контроля.
2. Получить у преподавателя вариант задания (табл. 5.1).
3. С помощью УТК определить неисправность ТЭЗ.
4. На основании полученных результатов определить неисправные элементы и сделать вывод о проделанной работе.
5. Вставьте исследуемую плату (ТЭЗ) в разъем стенда 1.
6. Установите все кнопки вход/выход (белые) 5 в положение «вход». Затем отожмите те кнопки, которым по схеме соответствует положение «выход». Проверить правильность установки можно с помощью кнопки 3.
7. После этого можно включать блок питания установки тестового контроля и тумблер питания стенда 2. Установка готова к работе.
8. Внести неисправность в модуль ТЭЗ в соответствии с вариантом задания (табл. 5.1) при помощи кнопок, расположенных на модуле ТЭЗ (рис. 5.2).

### 5.1. Варианты заданий

№ варианта	Номер кнопки						№ варианта	Номер кнопки					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1	16	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	0	17	1	0	1	0	1	1
3	1	1	1	1	0	1	18	1	0	1	0	1	0
4	1	1	1	0	0	0	19	0	0	1	1	0	1
5	1	1	0	0	1	1	20	0	0	1	1	0	0
6	1	0	0	0	1	0	21	0	1	0	1	1	1
7	0	0	0	1	0	1	22	0	1	0	0	1	0
8	0	0	0	1	0	0	23	0	1	0	0	0	1
9	0	0	1	1	1	1	24	0	1	0	0	0	0
10	0	0	1	0	1	0	25	1	1	1	1	1	1
11	0	1	1	0	0	1	26	1	0	1	1	1	0
12	0	1	1	0	0	0	27	1	0	1	1	0	1
13	1	1	0	1	1	1	28	1	0	1	0	0	0
14	1	1	0	1	1	0	29	1	0	0	0	1	1
15	1	1	0	1	0	1	30	1	0	0	0	1	0

9. В соответствии с таблицей истинности (табл. 5.2) установите на входах ТЭЗ логические уровни кнопками черного цвета 6 с номерами, которые совпадают с номерами входов на плате для первого варианта входной комбинации (первая строка таблицы).

### 5.2. Таблица истинности исправного ТЭЗ

№	Номера входов													Номера выходов					
	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	21	22	23	25	26	28	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	
3	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

10. Проконтролируйте, какие логические уровни наблюдаются на выходных контактах ТЭЗ по пронумерованным в соответствии с номерами выходных контактов сигнальными светодиодами. Занесите выходную комбинацию в табл. 5.3.

11. Повторите пункты 5–6 для всех входных комбинаций.

12. После проверки всех строк таблицы истинности сравните все полученные данные с прилагаемой к ТЭЗ таблицей истинности. По полученным результатам и данным табл. 5.4 сделайте вывод о работоспособности платы. В случае необходимости найдите на схеме логический элемент, вышедший из строя.

### 5.3. Экспериментальные данные

Контакт \ Комбинация	21	22	23	25	26	28
1						
2						
3						
4						

### 5.4. Таблица соответствия выводов микросхем на плате контактам ТЭЗ

Микросхема	Номер контакта
DD1.1	22
DD1.2	21
DD2.1	26
DD2.2	23
DD2.3	28
DD2.4	25

### Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Таблица истинности исправного ТЭЗ.
3. Таблица выходных параметров (логических уровней), полученных экспериментальным путём.
4. Вывод о проведении диагностики исправности типовых элементов замены, в результате которой определены вышедшие из строя элементы.

### Контрольные вопросы

1. Какие средства применяются при контроле качества радиоэлектронных средств?
2. Как осуществляется контроль исправности цифровых устройств?
3. Поясните принцип действия установки тестового контроля?
4. В чём заключаются оптический и рентгеновский методы контроля дефектов при изготовлении РЭС?
5. Как осуществляется контроль электрических параметров изготовленного РЭС?
6. На чём основан принцип действия автоматизированной системы технического зрения?

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ РЭС СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** выполнить анализ погрешностей партии изделий и в соответствии с полученными результатами внести изменения в технологический процесс их изготовления.

### Краткие теоретические сведения

Точность параметров радиоэлектронных средств определяется степенью соответствия действительного (измеренного) параметра заданному номинальному. Отклонения от номинальных значений параметров, указанных в нормативно-технической документации, называются производственными погрешностями. Производственные погрешности зависят от ряда воздействующих дестабилизирующих факторов: неточности технологических операций при изготовлении РЭС, несоблюдения режимов работы оборудования, неточности инструментов и оснастки, комплектующих компонентов, влияния температуры, влажности и давления на процесс изготовления РЭС.

Для обеспечения допустимой производственной погрешности необходимо выполнить расчёт допусков на параметры полупроводниковых элементов, интегральных микросхем и электрорадиоэлементов, которые определяют заданные в нормативно-технической документации допуски на выходные параметры изделий РЭС [11]. Точность изготовления, а следовательно, и надёжность РЭС повышается при введении соответствующих электрических допусков на параметры элементов электрических и составляющих компонентов РЭС с учётом воздействия температуры окружающей среды, старения элементов, неточности технологических процессов, которые влияют на изменение выходных параметров и характеристик.

Выходные параметры имеют разброс из-за постоянных (систематических), закономерно изменяющихся и случайных погрешностей. Если погрешности партии деталей одинаковые, то они называются постоянными. При случайном характере появления погрешностей, они называются случайными. Если значения погрешностей изменяются по определённому закону при изготовлении партии изделий, то они называются закономерно изменяющимися.

При производстве РЭС для оценки точности наиболее часто используются три метода: расчётно-аналитический, наблюдение в цехах и статистический [1].

Метод наблюдения в цехах реализуется на основе полученных данных о точности изделий при их обработке и сборке. При этом учитывается вид материала изделий, используемое оборудование и инструменты. Статистический метод основан на положениях теории вероятности и математической статистики. Для оценки точности изготовления деталей РЭС используются следующие основные статистические методы: точечных и точностных диаграмм, кривых распределения.

Производственные погрешности исследуются в основном статистическими методами. При этом устанавливаются закономерности распределения этих погрешностей. Применение статистических характеристик (средних арифметических значений, средних квадратичных отклонений, кривых распределения отклонений) обусловлено тем, что производственные погрешности – это случайные величины, которые определяются на основе математической статистики и теории вероятности.

Предельное значение суммарной погрешности можно оценить с помощью метода кривых распределения. Используемый метод позволяет установить разброс погрешностей изготовления партии деталей и определить процент возможного брака. Для построения кривой распределения замеряется параметр  $A$  партии деталей в количестве  $N$  штук. Замеренный параметр  $A$  разбивается на равные интервалы и считается число параметров  $n$  в каждом интервале. Определяется частота повторений отклонений параметров в партии  $n/N$ . После этого строится гистограмма и полигон распределения погрешностей (рис. 6.1) [1]. Определяется характер кривой распределения, исходя из критериев подобия Колмогорова.

Вид кривой распределения зависит от вида погрешностей. Например, случайная погрешность подчиняется закону нормального распределения Гаусса.

Кривая распределения погрешностей является наглядной диаграммой технологического процесса, которая позволяет судить о его стабильности и фиксировать различные изменения в нём. Пользуясь кривой распределения, можно определить количество возможного брака и соответствие между заданными допусками и возможностями применяемого оборудования или технологии.

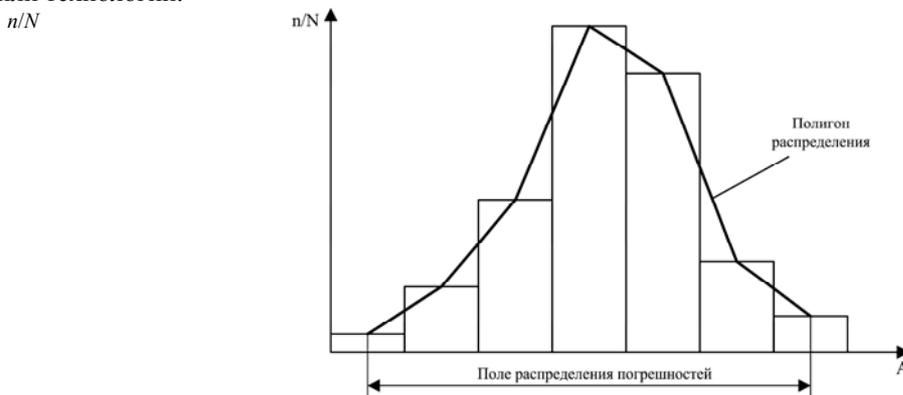


Рис. 6.1. Гистограмма и полигон распределения погрешностей

Вероятность соблюдения заданного допуска может быть определена графически. Полная площадь  $S_1$  кривой распределения, ограниченная от  $x_{\min}$  до  $x_{\max}$ , соответствует в некотором масштабе полному количеству изделий данной партии.

Площадь  $S_2$  кривой распределения, ограниченная полем допуска по ТУ, соответствует в том же масштабе количеству изделий, имеющих размеры в пределах заданного допуска. Разделив значение площади  $S_2$  на полную площадь  $S_1$ , получим вероятность наблюдения заданного допуска. Для этого гистограмма и полигон распределения погрешности строится в масштабе, а затем производится определение площадей  $S_1$  и  $S_2$  [12].

Определить эту вероятность можно аналитически. Для этого площадь  $S_2$  определяем интегрированием уравнения кривой в соответствующих пределах.

Выходной параметр изделия должен быть выполнен с определенной точностью, т.е. выходной параметр не должен иметь большего отклонения от номинального значения, чем допустимое  $\pm\Delta$ , где  $\Delta$  – абсолютное допустимое значение отклонения параметра.

Вероятность того, что выходной параметр  $x$  будет лежать в допустимых пределах при законе нормального распределения, может быть определена по формуле

$$P(-\Delta < x < +\Delta) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\Delta}^{+\Delta} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx,$$

где  $\sigma_x$  и  $m_x$  – среднее квадратичное отклонение и математическое ожидание случайной величины, соответственно.

Обозначим  $z = \frac{x-m_x}{\sigma_x}$ , тогда после преобразования получим

$$P(-\Delta < x < +\Delta) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\Delta}{\sigma_x}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 2\Phi(z),$$

здесь  $\Phi(z)$  – функция Лапласа, определяющая площадь под одной половиной кривой нормального распределения, ограниченную с одной стороны средним значением размера (ось симметрии кривой), а с другой – допустимым значением отклонения. Значения функции Лапласа определяются по табл. 6.1 для различных отношений  $\Delta/\sigma$ .

### 6.1. Значения функции Лапласа

$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
0,00	0,0000	1,30	0,4032	2,60	0,4953
0,10	0,0398	1,40	0,4192	2,70	0,4965
0,20	0,0793	1,50	0,4332	2,80	0,4974
0,30	0,1179	1,60	0,4452	2,90	0,4981
0,40	0,1554	1,70	0,4554	3,00	0,49865
0,50	0,1915	1,80	0,4641	3,20	0,49931
0,60	0,2257	1,90	0,4713	3,40	0,49966
0,70	0,2580	2,00	0,4772	3,60	0,499841
0,80	0,2881	2,10	0,4821	3,80	0,499928
0,90	0,3159	2,20	0,4861	4,00	0,499968
1,00	0,3413	2,30	0,4893	4,40	0,4999946
1,10	0,3643	2,40	0,4918	4,80	0,4999992
1,20	0,3849	2,50	0,4938	5,00	0,4999997

### Методические указания и порядок выполнения работы

1. В соответствии с заданием для своего варианта из прил. Е к данной лабораторной работе определить параметр для измерения по эскизу детали, приведённому на рис. Е1. Измерить параметр партии изделий.
2. По результатам измерений определить диапазон  $x_p$  рассеяния значений размеров изделий партии из  $N$  штук

$$x_p = x_{\max} - x_{\min},$$

где  $x_{\max}$  – наибольшее значение размера;  $x_{\min}$  – наименьшее значение размера.

3. Диапазон рассеяния размеров деталей разделить на  $m$  равных интервалов ( $m = 5 - 10$ ). Рекомендуется границы первого интервала начинать со значения на 0,5 интервала меньше  $x_{\min}$ , а заканчивать последний интервал значением, превышающим  $x_{\max}$  также на 0,5 интервала.

4. Подсчитать количество изделий  $n_i$  (частоту), входящих в каждый интервал.
5. Найти среднее арифметическое значение размеров деталей каждого интервала

$$x_{m\text{ ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n_i}.$$

6. Рассчитать среднее арифметическое значение размера параметра партии изделий, определяющее центр группирования его значений,

$$x_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{m\text{ср}} \cdot n_i}{N}.$$

7. Найти отклонение  $\Delta x_{mi}$  значения размера  $x_{m\text{ср}}$  интервала от среднего  $x_{\text{ср}}$  для всей партии изделий:

$$\Delta x_{mi} = x_{m\text{ср}} - x_{\text{ср}}.$$

8. Результаты расчётов внести в табл. 6.2.

### 6.2. Результаты расчётов

№ интервала	Границы интервалов, $x_{pn_i}$	Количество деталей в интервале (частота), $n_i$	Относительная частота (частность), $n_i / N$	Среднее значение размера детали в интервале, $x_{m\text{ср}}$	Отклонение, $\Delta x_{mi}$
1	30,348... ...32,291	2	0,02	31,259	-5,428
2	32,291... ...34,233	6	0,06	33,349	-3,338
3	34,233... ...36,176	29	0,29	35,078	-1,609
4	36,176... ...38,119	45	0,45	37,284	0,597
5	38,119... ...40,061	14	0,14	39,066	2,379
6	40,061... ...42,004	3	0,03	40,336	3,649
7	42,004... ...43,946	1	0,01	43,096	6,409

9. Рассчитать среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  случайной величины

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta x_{mi}^2 \cdot n_i}{N}}.$$

10. Рассчитать допустимое значение отклонения  $\Delta$  размера от номинального значения  $x_{\text{ном}}$  по заданному допуску  $\delta\text{TУ}$  (табл. E1, прил. E).

$$\Delta = x_{\text{ном}} \frac{\delta\text{TУ}}{100}.$$

11. Построить по данным табл. 6.2 гистограмму и полигон распределения погрешностей размеров параметров изделий  $n_i = f(\Delta x_{mi})$ . Для построения полигона необходимо из середины каждого интервала провести ординаты, высота которых пропорциональна частотам  $n_i$  или частностям  $n_i/N$ , и концы ординат соединить ломаной линией (рис. 6.2).

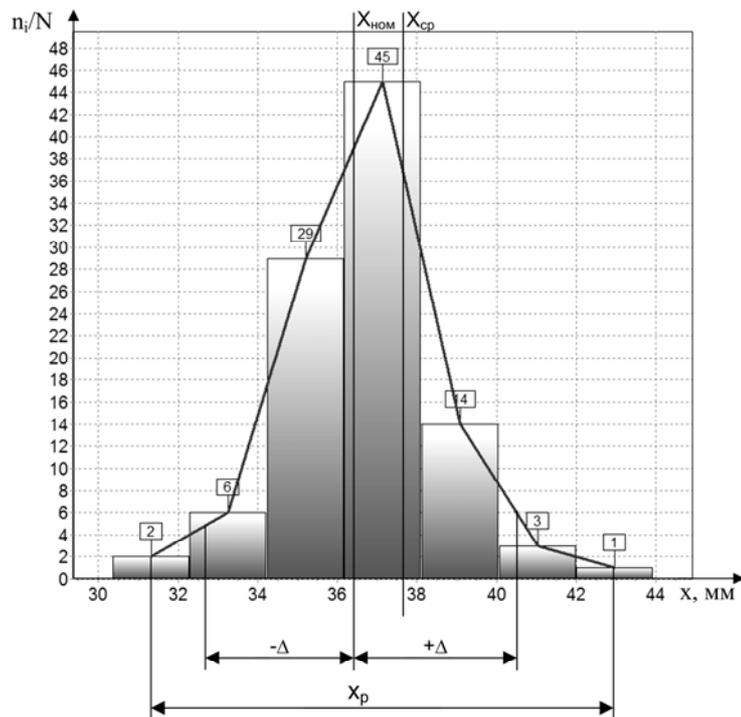


Рис. 6.2. Экспериментальная гистограмма и полигон распределения погрешностей

12. Вычислить относительный коэффициент асимметрии  $\alpha$ , характеризующий собой отклонение среднего значения параметра от номинального, и коэффициент рассеяния  $K$ , определяющий, в какой степени закон распределения погрешностей отличен от закона нормального распределения:

$$\alpha = \frac{x_{\text{ср}} - x_{\text{ном}}}{0,5\delta}; \quad K = \frac{3\sigma}{0,5\delta}.$$

При несущественных расхождениях между  $x_{\text{ср}}$  и  $x_{\text{ном}}$  принимают  $\alpha = 0$ . Для закона нормального распределения  $\delta = 3\sigma$  и  $K = 1$ , для закона равнобедренного треугольника  $\delta = 4,9\sigma$  и  $K = 1,22$ , для закона равной вероятности  $\delta = 3,4\sigma$  и  $K = 1,73$ .

13. Определить аналитически вероятность  $P_A$ , соблюдения заданного допуска  $\Delta$ . Для этого рассчитать  $z = 0,5\Delta/\sigma$  и определить значение функции  $\Phi(z)$  по табл. 6.1. Вероятность соблюдения допуска равна  $2\Phi(z) \cdot 100\%$ .

14. Определить графически вероятность  $P_A$  соблюдения заданного допуска. Для этого замерить площадь  $S_2$  под кривой фактического распределения (п. 11) в пределах допустимого отклонения  $\pm\Delta/2$  и общую площадь  $S_1$  под той же кривой. Рассчитать отношение  $S_2/S_1$ , которое определит вероятность соблюдения заданного допуска.

15. Гистограмму и полигон распределения погрешностей построить с использованием персонального компьютера с помощью программы Stat.exe.

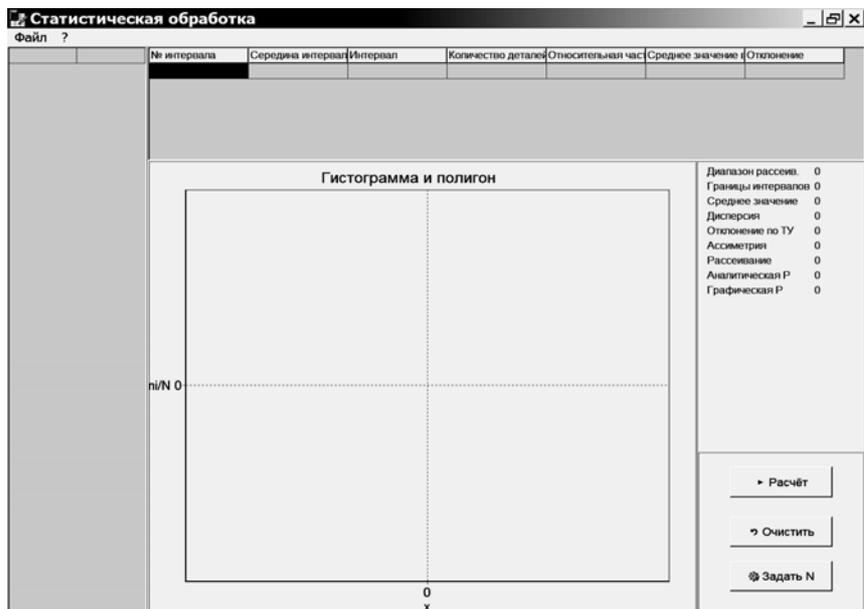


Рис. 6.3. Главное окно программы

*Работа с программой.*

При запуске программы Stat.exe на экране компьютера появляется главное окно программы (рис. 6.3).

Чтобы приступить к расчёту, необходимо нажать кнопку «Задать N», после этого появится окно, в которое необходимо ввести число N, например, вводим 10 (рис. 6.4).

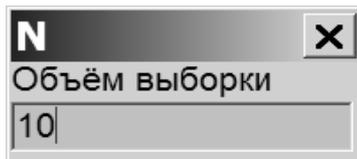


Рис. 6.4. Ввод объёма партии N

Затем следует закрыть это окно, а в главной таблице программы появятся два поля. В первом – показаны параметры для ввода, а во второе необходимо внести все исходные данные для расчёта (рис.6.5).



Рис. 6.5. Таблица для ввода данных

Заполнить таблицу и нажать кнопку «Расчёт». При этом программа выполнит все пункты лабораторной работы. На (рис. 6.6) показаны построенные с помощью программы гистограмма и полигон распределения погрешностей. Результаты работы программы можно сохранить: таблицу в формате, пригодном для экспорта в Excel (рис. 6.7), а гистограмму и полигон можно распечатать или сохранить в виде картинки (рис. 6.8).

Справа от гистограммы и полигона в окне программы располагаются параметры партии, которые необходимо рассчитать (рис. 6.8).

№ интервала	Средняя интервал	Интервал	Количество деталей	Относительная част.	Среднее значение	Отклонение
1	36,178	35,710-36,646	1	0,100	36,100	-1,830
2	37,114	36,646-37,582	2	0,200	37,050	-0,880
3	38,050	37,582-38,518	4	0,400	37,925	-0,005
4	38,986	38,518-39,454	2	0,200	38,700	0,770
5	39,922	39,454-40,390	1	0,100	40,000	2,070

x1	36,2
x2	37,1
x3	37,8
x4	38,7
x5	37,7
x6	38,7
x7	38,0
x8	36,1
x9	37,0
x10	40,0
N	10
m	5
k ном	37
Допуск %	0,8

Диапазон рассеив. 3,900  
 Границы интервалов 4,680  
 Среднее значение 37,930  
 Дисперсия 1,018  
 Отклонение по ТУ 0,296  
 Асимметрия 6,284  
 Рассеивание 20,640  
 Аналитическая Р 11,568  
 Графическая Р 6,606

► Расчёт

↻ Очистить

⊗ Задать N

Гистограмма и полигон

Рис. 6.6. Гистограмма и полигон распределения погрешностей

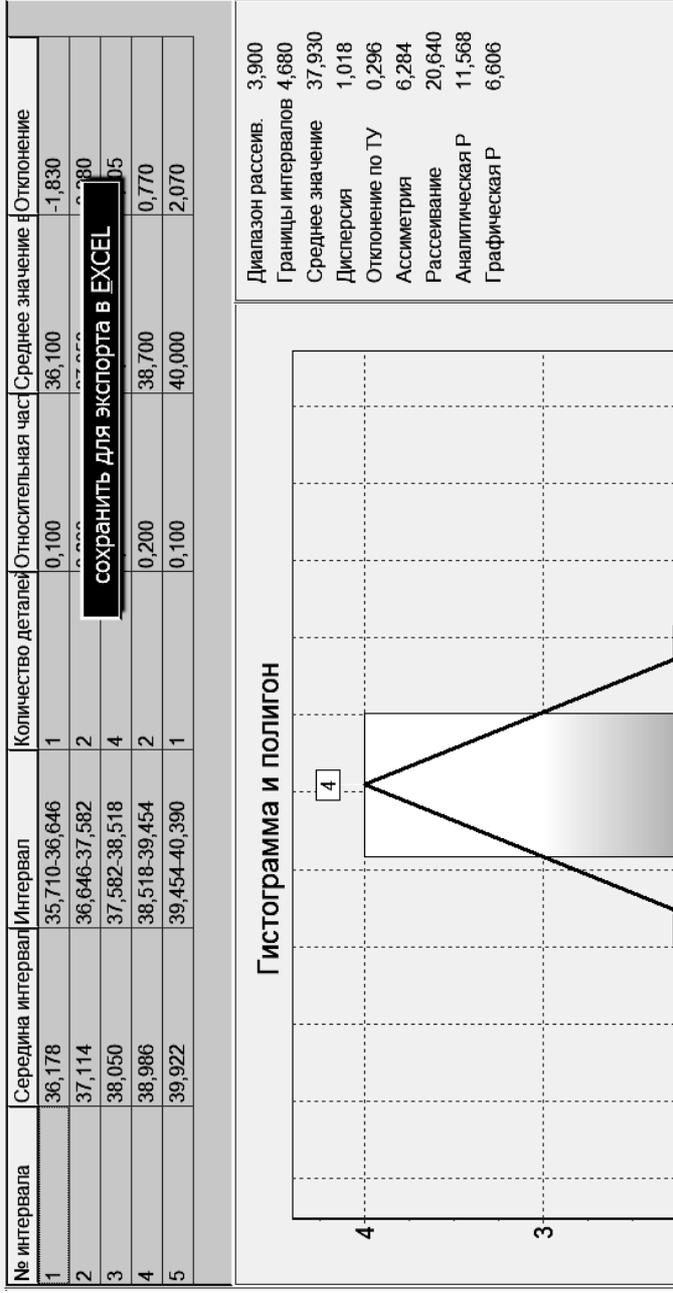


Рис. 6.7. Окно для сохранения таблицы при экспорте в Excel

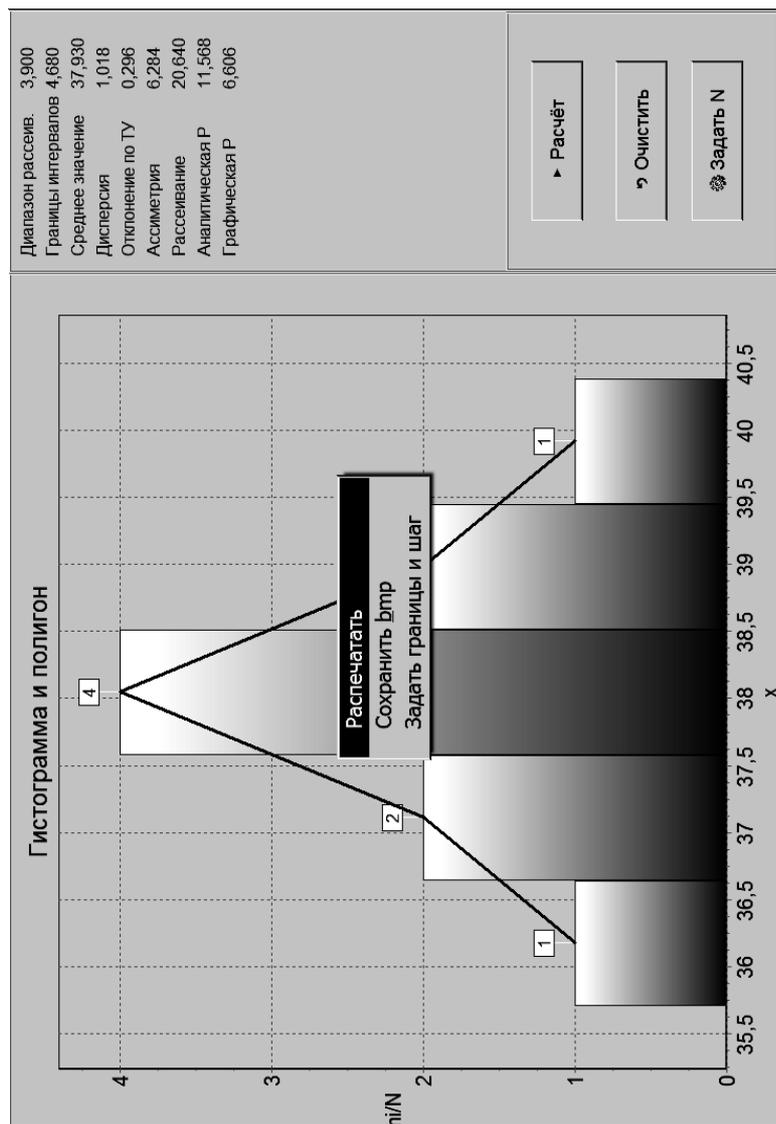


Рис. 6.8. Окно программы для сохранения (и реализации других функций) гистограммы и полигона

Для импорта файла, полученного этой программой в Excel, необходимо выполнить следующее:

- 1) запустить Excel;
- 2) выполнить открытие файла, предварительно указав тип файла – «Текстовые файлы (\*.prn;\*.txt;\*.csv)»;
- 3) в появившемся Мастере импорта указать формат данных «с разделителями» и выбрать формат файла «Windows ANSI»;
- 4) нажать «далее»;
- 5) поставить галочку, что символом-разделителем является точка с запятой;
- 6) нажать «Далее», а затем «Готово».

После указанных действий полученную таблицу можно поместить в отчёт.

#### Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Эскиз детали партии изделий.
3. Результаты измерений параметров деталей партии изделий (в виде таблицы).
4. Результаты расчётов измерений (в виде таблицы).
5. Построенные по результатам измерений гистограмма и полигон распределения погрешностей.
6. Результаты определения вероятности соблюдения заданного допуска графическим и аналитическим методами.
7. Вывод о полученных результатах при измерении параметров партии изделий по соблюдению заданного допуска и технологическом процессе изготовления деталей, используемых в лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем определяется точность параметров радиоэлектронных средств?
2. Что называется производственной погрешностью?
3. От каких дестабилизирующих факторов зависят производственные погрешности?
4. Как выполняется расчёт допусков на параметры компонентов РЭС?
5. Какие виды производственных погрешностей Вы знаете?
6. Какими методами исследуются производственные погрешности?
7. В чём заключается метод кривых распределения при оценке производственных погрешностей?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены основные теоретические положения и даны рекомендации по проведению лабораторного практикума.

Приведена методика расчёта и анализа технологичности изделий РЭС и программа реализации этой методики на персональном компьютере.

Рассмотрены этапы технологического процесса сборки и монтажа электронных блоков РЭС и отдельные технологические операции.

Приведён пример сборки узла РЭС с базовой деталью, образец заполнения маршрутных карт техпроцесса сборки.

Даны рекомендации по проведению процессов контроля типовых элементов замены с помощью установки тестового контроля, разработке технологической инструкции по проверке и настройке блока РЭС.

Предложена методика использования программного обеспечения для размещения контактных площадок и сверления отверстий печатных плат (программа «P-CAD»), оценки точности изготовления партии изделий статистическим методом (программа «Stat.exe»), анализа технологичности изделий РЭС (программа «Technology.exe»).

Более подробно с технологией изготовления радиоэлектронных средств студенты могут ознакомиться в рекомендуемой литературе [1 – 4, 10, 11].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, А.В. Журавлёва [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
2. Технология РЭС: метод. указ. / сост. В.Н. Грошев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 32 с.
3. Павловский, В.В. Проектирование технологических процессов изготовления РЭА : учебное пособие для вузов / В.В. Павловский. – М. : Радио и связь, 2000. – 160 с.
4. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры : учебник для вузов / И.П. Бушминский, О.Ш. Даутов, А.П. Достанко [и др.] ; под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. – М. : Радио и связь, 1989. – 624 с.
5. ГОСТ 3.1118–82. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт.
6. Локтева, С.Е. Станки с программным управлением / С.Е. Локтева. – М. : Машиностроение, 1979.
7. Ратмиров, В.А. Основы программного управления станками / В.А. Ратмиров. – М. : Машиностроение, 1978.
8. Иллюстрированный самоучитель по P-CAD – <http://radiomaster.ru/cad/pcad/>.
9. Part programming codes – <http://www.excellon.com/manuals/prog-ram.htm>.
10. Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский ; под ред. И.Г. Мироненко. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
11. Белевцев, А.Т. Технология производства радиоаппаратуры / А.Т. Белевцев. – М. : Энергия, 1971. – 554 с.
12. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Конструирование и технология производства приборов и аппаратов» / Е.И. Теняков / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004.– 31 с.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

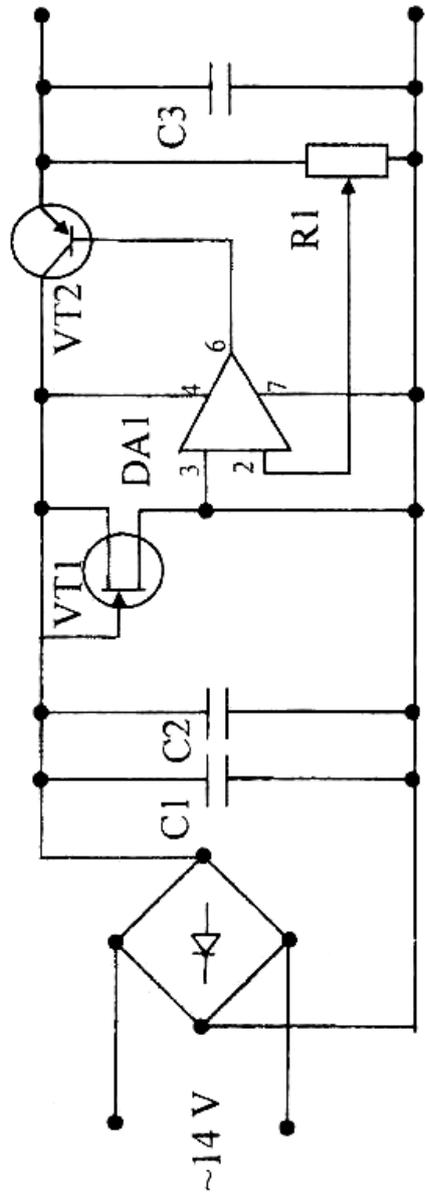
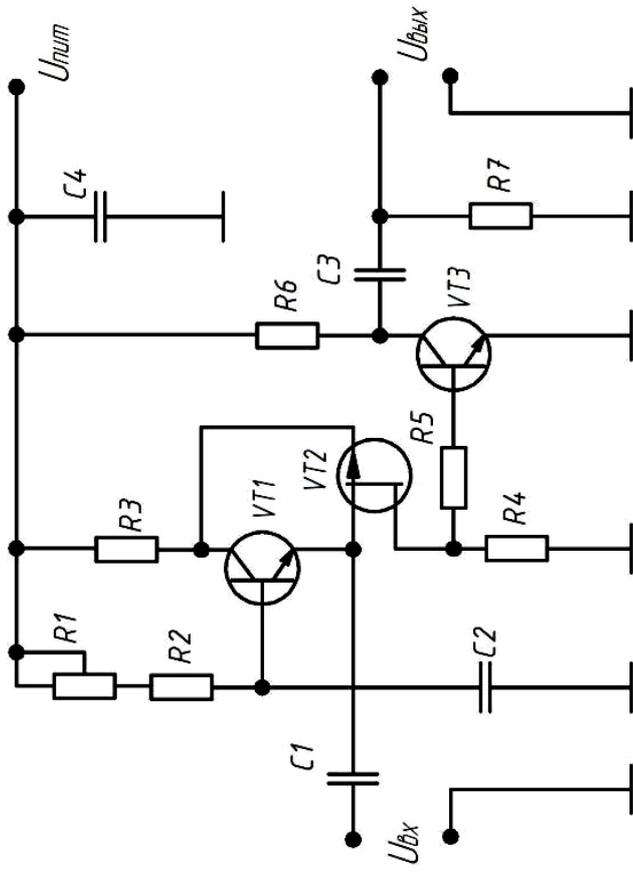


Рис. А1. Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения:

C1, C2 – К50-16-6,8 мкФ-16 В; DA1 – КР140УД7; R1 – СП-1-4,7 кОм;  
 VD1 – VD4 – Д237Б; VD5 – Д814Г; VT1 – КП303И; VT2 – КТ315 (КТ837)



**Рис. А2. Принципиальная электрическая схема формирователя задержанных импульсов:**

C1 – К10-17а-Н90-1 нФ; C2 – К10-17а-Н90-2,2 нФ; C3 – К10-62а-М750-10 нФ; C4 – К10-17а-М47-0,1 пФ;

R1 – СПЗ-19а-0,5-10 кОм; R2 – С2-33Н-0,125-100 кОм; R3 – С2-33Н-0,125 – 30 кОм; R4 – С2-33Н-0,125-4,7 кОм;

R5 – С2-33Н-0,125-3,3 кОм; R6 – С2-33Н-0,125-2 кОм; R7 – С2-33Н-0,125-10 кОм;

VT1, VT3 – КТ315; VT2 – КП103

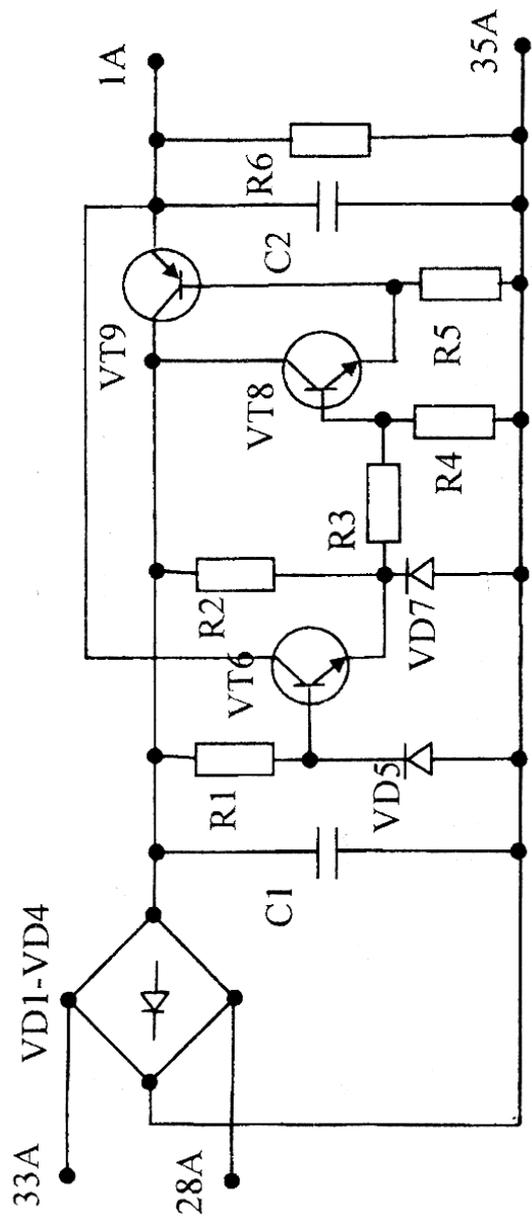


Рис. А3. Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения:

VD1 – VD5, VD7 – Д226Б; VT6, VT8 – МП40; VT9 – П216В; R1 – 0,25 Вт-10 кОм; R2 – 0,5Вт-470 Ом; R3, R5 – 0,25 Вт-1 кОм; R4 – 0,25 Вт-3 кОм; R6 – 0,5 Вт-1,5 кОм; C1 – К50-16-100 мкФ-16 В; C2 – К50-12-100 мкФ-12 В

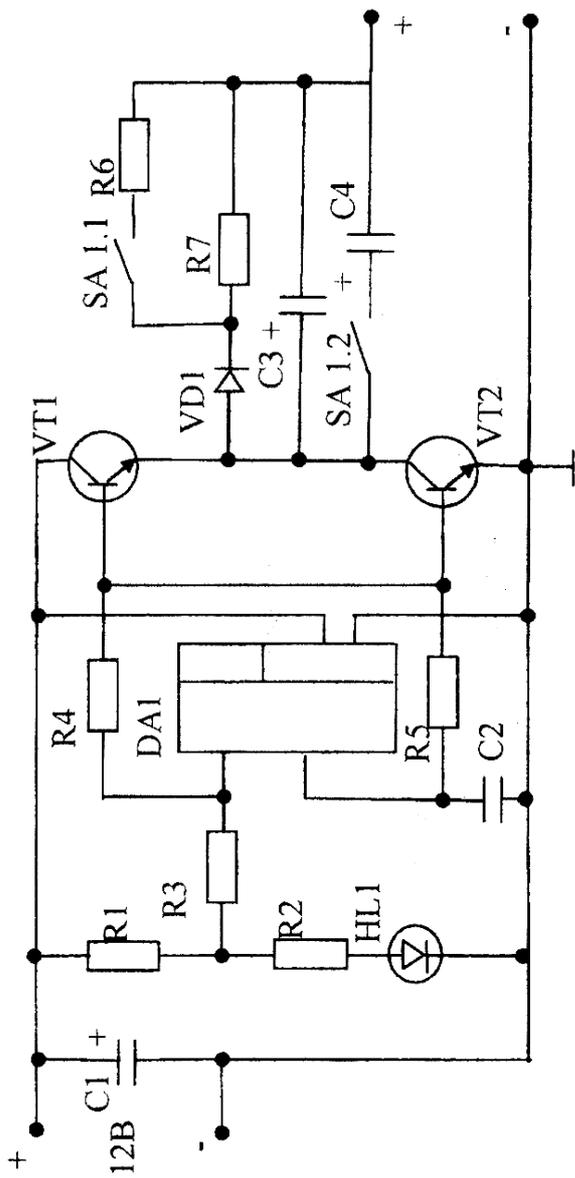


Рис. А4. Принципиальная электрическая схема зарядного устройства:

C2-33 нФ-0,125; R1 – 1 кОм; R2 – 750 Ом; R3 – 47 кОм; R4 – 100 кОм; R5 – 470 кОм; R6 – 30 Ом; R7 – 130 Ом;  
 DA1 – К553УД2; C1 – 490-16-50 мкФ-16 В; C2 – КМ6-0,22 мкФ; C3 – К50-16-20 мкФ-16 В; C4 – К50-16-30 мкФ-16 В;  
 HL1 – АЛ307Б; VT1 – КТ815Б; VT2 – КТ361Б; VD1 – КД105Б-100 мкФ-12 В

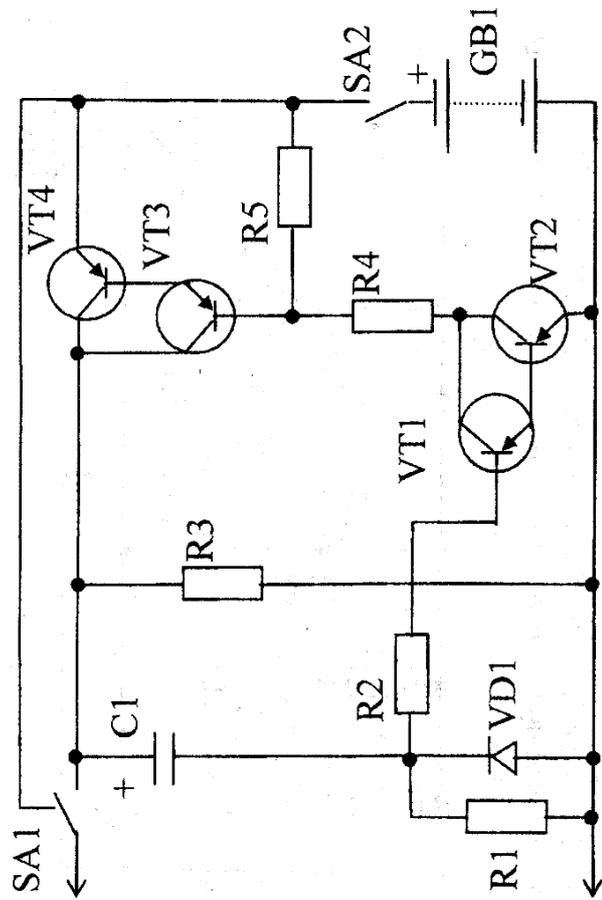


Рис. А5. Принципиальная электрическая схема таймера:

C2-33 нФ-0,25; R1 – 4,7 МОм; R2 – 1,3 МОм; R3 – 6,8 кОм; R4 – 15 кОм; R5 – 18 кОм; C1 – К50-16-500 мкФ-16 В;  
 VT1, VT2 – КТ315 В; VT3, VT4 – КТ361Б; SA1 – ПД9-2

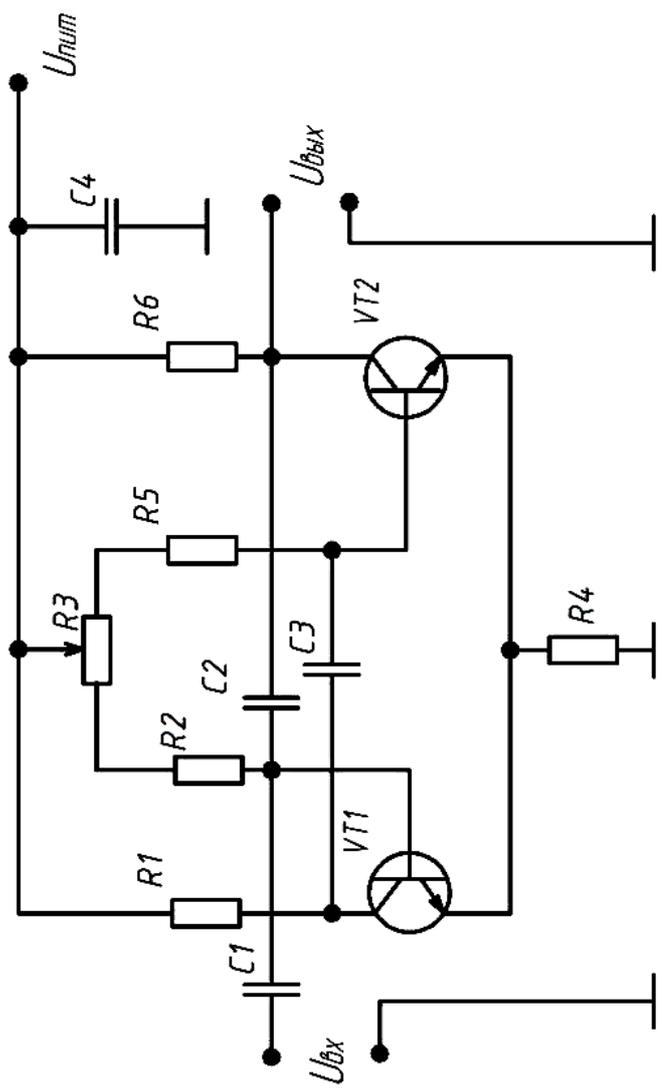


Рис. А6. Принципиальная электрическая схема генератора прямоугольных импульсов:

$C1$  – К10-17-1 нФ;  $C2$ - $C4$  – К10-17-0,1 пФ;  $C2$ - – 33 нФ-0,125;  $R1, R6$ -2 кОм;  
 $R2, R5$  – 10 кОм;  $R4$  – 200 Ом; СП3-19а-0,125;  $R3$  – 10 кОм; VT1, VT2 – КТ3102

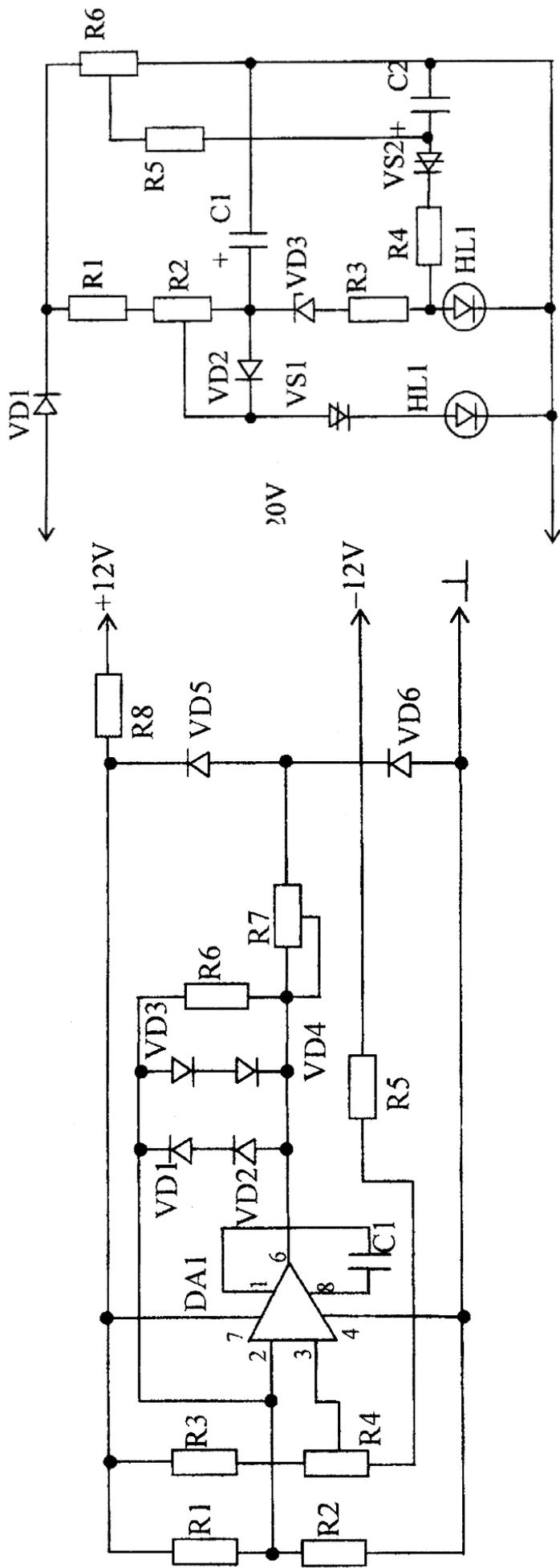


Рис. А8. Принципиальная электрическая схема индикатора тока:

DA1-K153УД2; VD1-VD4-Д223Б; VD5, VD6-KC133А; R1 – R3, R5 – 0,125 Вт-5,1 кОм; R4 – СП0-0,5-2,2 кОм; R6-0,125 Вт-100 Ом; R7 – СП0-0,5-51 кОм; R8 – 0,5 Вт-390 МОм

Рис. А7. Принципиальная электрическая схема сигнализатора изменения напряжения:

C1 – К50-16-20 мкФ-16 В; C2 – К50-16-5 мкФ-50 В; HL1, HL2 – АЛ307А; VD1 – Д226Б; VD2 – Д226Б; R1 – 2 Вт-7,5 кОм; R2 – СП0-0,5-7,5 кОм; R3 – R5 – 0,25 Вт-150 Ом; R6 – 0,25 Вт-100 кОм; VS1, VS2 – КН102Б; VD3 – КС147А



**СЕНСОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ  
(Перечень элементов)**

		Обоз.	Наименование	Кол.	Примечание	
Лист примен			<i>Конденсаторы</i>			
		C1	K10-17a-H90 0,1 мкФ ОЖО.460.107ТУ	1		
		C2	K10-17a-H90 0,068 мкФ ОЖО.460.107ТУ	1		
		C3	K52-1Б 220мкФ×25В±20% ОЖО.464.039ТУ	1		
		C4	K73-16a 0,22мкФ×250В±20% ОЖО.461.108ТУ	1		
		C5	K10-17a-H90 470пФ ОЖО.460.107ТУ	1		
Серия №		C6	K73-16a 0,22мкФ×250В±20% ОЖО.461.108ТУ	1		
			<i>Микросхема</i>			
		DA1	K145АП2БК0.347.560-01ТУ	1		
			<i>Лампа накаливания</i>			
	Лайф и дата		EL1	B220-235-60M ТУ16.675.178-86	1	
				<i>Предохранитель</i>		
		FU1	ВП1-1 ОЮО.480.003ТУ-Р	1		
ИФ. ИЭФ			<i>Светодиод</i>			
		HL1	A/1102B аА.339.311ТУ	1		
Вит иФ И			<i>Дроссель</i>			
		L1	D201-274 ОЮО.475.013ТУ	1		
Лайф и дата						
ИФ. ИЭФ					ТГТУ. 648133. 004 ПЭЭ	
		Изм/Лист	И докум.	Подп.	Дата	
		Разраб.				Сенсорный регулятор мощности
		Проб.				Перечень элементов
		Т.Контр				Лит. Лист Листов
		И.Контр				1 2
	Утв				КРЭМС гр. Р-52	

	Обоз.	Наименование	Кол.	Примечание
Группа К	<u>Резисторы ШКАБ.434110.005ТУ</u>			
	R1,R2	C2-33M-0,5 5,1 МОм±20%	2	
	R3	C2-33M-0,125 1,2 МОм±20%	1	
	R4	C2-33M-0,125 10 КОм±20%	1	
	R5	C2-33M-0,125 470 КОм±20%	1	
	R6	C2-33M-0,125 1 КОм±20%	1	
	R7	C2-33M-0,5 100 Ом±20%	1	
	R8	C2-33M-1 1 КОм±20%	1	
	R9	C2-33M-0,5 1,2 МОм±20%	1	
	R10	C2-33M-0,5 240 Ом±20%	1	
<u>Кнопка</u>				
SB1	КП-1, 1ТВР0.360.002ТУ	1		
<u>Диоды</u>				
Группа И	VD1,VD2	КС515А СМ3.362.823ТУ	2	
	VD3	КС522А СМ3.362.823ТУ	1	
	VD4,VD5	КД105Б ТР3.360.075ТУ	2	
<u>Симистор</u>				
VS1	КЧ208Г ТТ0.343.003ТУ	1		
<u>Транзистор</u>				
VT1	КТ630А ЮФ3.365.043ТУ	1		
ТГТУ. 648133. 004				Лист 2
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

**СЕНСОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ  
(Спецификация)**

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Лист узла				<i>Документация</i>				
	АЗ		ТГТУ. 648133. 004 ЭЭ	Схема электрическая принципиальная				
	АЗ		ТГТУ. 648133. 004 СБ	Сборочный чертёж				
				<i>Детали</i>				
Справ. №	АЗ		ТГТУ. 758725. 004	Плата печатная	1			
				<i>Прочие изделия</i>				
				<i>Диоды</i>				
		1		КД105Б ТР3.360.075ТУ	2	VD4,VD5		
Лейка и база		2		КС515А СМ3.362.823ТУ	2	VD1,VD2		
		3		КС522А СМ3.362.823ТУ	1	VD3		
				<i>Дроссель</i>				
		4		Д201-274 ОЮ0.475.013ТУ	1	L1		
ИФ. И.ЭФ.И				<i>Кнопка</i>				
		5		КП-1, 1ТВРО.360.002ТУ	1	SB1		
База иФ.И				<i>Конденсаторы</i>				
				К52-1Б 220мкФх25В±20%				
Лейка и база		6		ОЖ0.464.039ТУ	1	СЗ		
				ТГТУ. 648133. 004				
ИФ. И.ЭФ.И	Изм/Лист	№ док-м.	Подп.	Дата				
	Разраб.				Сенсорный регулятор мощности	Лит.	Лист	Листов
	Проб.						1	3
	Т.Контр					КРЭМС гр. Р-52		
	И.Контр							
Утв								

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Лист. Листочек				К10-17а-Н90 ОЖ0.460.107ТУ			
		7		К10-17а-Н90 0,1 мкФ	1	С1	
		8		К10-17а-Н90 0,068 мкФ	1	С2	
		9		К10-17а-Н90 470пФ	1	С5	
				К73-16а ±20% ОЖ0.461.108ТУ			
		10		К73-16а 0,22мкФ×250В	2	С4,С6	
	Стор. №				<i>Лампа накаливания</i>		
					Б220-235-60М		
			11		ТУ16.675.178-86	1	EL1
					<i>Микросхема</i>		
				К145АП2			
		12		ДКО.347.560-01ТУ	1	DA1	
				<i>Предохранитель</i>			
		13		ВП1-1 ОЮ0.480.00ЭТУ-Р	1	FU1	
				<i>Резисторы</i>			
				С2-33М±20%			
Листы и листы				ШКАБ.434.110.005ТУ			
		14		С2-33М-0,125 1 кОм	1	R6	
Инф. и инф.		15		С2-33М-0,125 10 кОм	1	R4	
		16		С2-33М-0,125 470кОм	1	R5	
Важ. инф. №		17		С2-33М-0,125 1,2МОм	1	R3	
		18		С2-33М-0,5 100 Ом	1	R7	
Листы и листы		19		С2-33М-0,5 240 Ом	1	R10	
		20		С2-33М-0,5 1,2 МОм	1	R9	
		21		С2-33М-0,5 5,1 МОм	2	R1,R2	
		22		С2-33М-1 1 кОм	1	R8	
Инф. и инф.							
ТГТУ. 648133. 004					Лист	2	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			



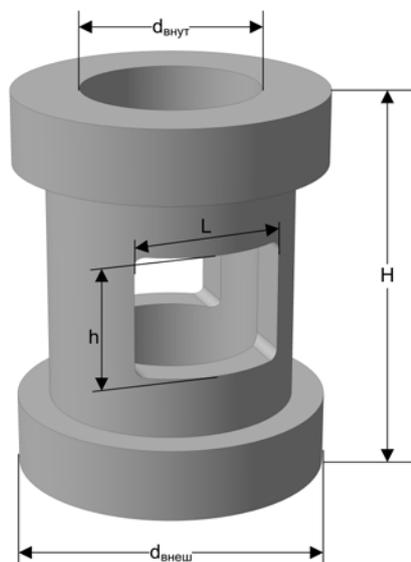
в том числе		МАРШРУТНАЯ КАРТА										ГОСТ 3.1118-82, форма 5А				
Цех	Уч	РМ	Опер	Код наименования операции			Обозначение документа									
А	Цех	Уч	РМ	Опер	СМ	Проф.	Р	КТС	КР	КОИД	ЕН	ТПЗ	Расц.			
Наименование детали сб. единиц и материалов				Обозначение код. ОПЛ										ЕН	КИ	Н.расх.
01	О		015	2. Проверить визуально качество заполнения отверстий припоем, не менее 95% мет. отв. должно быть с удовлетворительной паяемостью.												
02																
03	Т			Кисть А2 ОСТ17-888-81; пинцет ММП 120 АРП М6 890.001ТУ; тампон из салфетки; подставка АРД 0891-4001; паяльник ПЭТ50-6с РТП-2М или аналог; прибор для контроля Т рабочего; стержня паяльника ПГ8779-4003.												
04																
05																
06	А		020	Электромонтаж ИОТ №109, 140												
07	Б			Стол рабочий												
08	О			Определение паяемости контактных площадок												
09				1. Подобрать 5-10 контактных площадок расположенных по диагонали платы, флюсовать контактные площадки флюсом ФКСП и лудить однократным прикосновением жала паяльника, выдерживая параметры режима;												
10				т жала паяльника (250 – 270)°С, время касания (2-3)с, лудить припоём ПОС 61, остатки флюса удалить спирто-нефрасовой смесью, лужений 10 (для одной платы).												
11				2. Проверить визуально качество лужения контактных площадок платы; контактные площадки со стороны лужения должны быть покрыты гладким непрерывным слоем припоя, при неудовлетворительной паяемости отравить всю партию на доработку, уложить в тару.												
12				Тара для печатной платы неховая; пинцет ПМП 120 АРП М6 890.001ТУ; кисть №2 ОСТ17-888-81; тампон из салфетки; подставка АРД 0891-4001; паяльник ПЭТ50-6с РТП-2М или аналог.												
13																
14																
15	Т															
16																
17																
18																
19																
20	А		025	Контроль ИОТ №50												
21	Б			Стол ОТК												
22	О			Контроль ОТК-100%. Проверить визуально паяемость ПП; кач-во заполнения припоя электро монтажных отверстий и качество лужения контактных площадок ПП согласно ГОСТ 23752-79.												
23																
24																
25	А		030	Сушка ИОТ №140												
26	Б			Шкаф сушильный КШ-1												
27	О			Извлечь плату из тары. Подвергнуть плату сушке за 6 часов до пайки при t(100-110)°С в течение 1.5-2 часов или												
Изм.	Лист	Желюж	Полп.	Дата	Лист	№ докум.	Пооп	Дата						Лист	2	





## ЭСКИЗ ДЕТАЛИ И ЕЁ ПАРАМЕТРЫ

Эскиз внешнего вида детали (корпуса измерительного датчика информационно-измерительной системы) из партии изделий и её параметры приведены на рис. Е1.



**Рис. Е1. Эскиз детали и её параметры:**

$d_{\text{внеш}}$  – внешний диаметр;  $d_{\text{внут}}$  – внутренний диаметр;  $H$  – высота детали;  
 $h$  – высота окна;  $L$  – ширина окна

Величины допусков и номинальных значений параметров деталей партии изделий приведены в табл. Е1.

**Е1. Величины допусков и номинальных значений параметров деталей**

Измеряемые параметры	Допуск $\delta_{\text{TУ}}$ , %	Номинальное значение $x_{\text{ном}}$ , мм
$H$	0,25	42
$d_{\text{внеш}}$	0,30	35
$h$	0,27	18
$L$	0,25	21
$d_{\text{внут}}$	0,20	28

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>Лабораторная работа 1. РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ</b> .....	4
<b>Лабораторная работа 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ И МОНТАЖА БЛОКА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ</b> .....	14
<b>Лабораторная работа 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ P-CAD ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПЛОЩАДОК И СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ</b> .....	20
<b>Лабораторная работа 4. КОНТРОЛЬ, РЕГУЛИРОВКА И НАСТРОЙКА БЛОКА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ</b> .....	36
<b>Лабораторная работа 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕНЫ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ</b> .....	41
<b>Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ РЭС СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ</b> .....	48
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	60
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	61
<b>Приложение А. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ</b> ...	62
<b>Приложение Б. ПЛАТА СЕНСОРНОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ (Сборочный чертёж)</b> .....	70
<b>Приложение В. СЕНСОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ (Перечень элементов)</b> .....	71
<b>Приложение Г. СЕНСОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ (Спецификация)</b> .....	73
<b>Приложение Д. МАРШРУТНАЯ КАРТА</b> .....	75
<b>Приложение Е. ЭСКИЗ ДЕТАЛИ И ЕЁ ПАРАМЕТРЫ</b> .....	79