

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

Кафедра электронной техники и технологии

**В.М. Бондарик**

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### ***КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ***

Минск БГУИР 2006

УДК 004.4 (075.8)  
ББК 32.973 я 73  
Б 81

А в т о р :  
В.М. Бондарик

**Бондарик В.М.**  
Б 81      Системы автоматизированного проектирования. Курсовое проектирование: Уч. пособие для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптические системы и технологии» дневной и заочной форм обуч. / В.М. Бондарик. – Мн. БГУИР, 2006. – 78 с.: ил.

ISBN 985-444-XXX-X

Содержит общие требования к курсовой работе, особенности и методику проектирования электронной лечебной аппаратуры. В пособии приведены требования к расчетной части курсового проекта с примерами электрических и конструкторских расчетов, а также рекомендации по автоматизированному проектированию и оформлению курсовых проектов.

Пособие имеет целью научить студентов самостоятельно проектировать электронную аппаратуру с применением систем автоматизированного проектирования.

Пособие предназначено для студентов специальностей «Медицинская электроника», «Электронно-оптические системы и технологии» и руководителей курсовых проектов.

УДК 004.4 (075.8)  
ББК 32.973 я 73

©, Бондарик В.М., 2006  
© БГУИР, 2006

ISBN 985-444-XXX-X

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Задача и тематика курсового проектирования .....	5
2 Общие требования к курсовой работе .....	6
3 Пример решения задачи покрытия и размещения электронного блока .....	9
4 Компонентный расчет платы.....	18
5 Конструирование и расчет печатных плат .....	20
6 Проектирование печатных узлов в P-CAD .....	32
7 Оформление чертежей ЭА в AutoCAD.....	68
Рекомендуемая литература .....	75
Приложение А. Пример исходных данных, содержания пояснительной записки и перечня графического материала курсовой работы .....	77
Приложение Б. Пример титульного листа курсового проекта .....	78

## 1 ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовая работа по дисциплинам "Системы автоматизированного проектирования средств медицинской электроники" для специальности 39.02.03 "Медицинская электроника" и "Системы автоматизированного проектирования с основами защиты информации" для специальности 36.04.01 "Электронно-оптические системы и технологии" выполняется после изучения основных дисциплин по проектированию электронной аппаратуры (ЭА). В результате выполнения проекта студент должен расширить, систематизировать и закрепить знания по основным принципам автоматизированного проектирования ЭА, методикам их оптимального расчета с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР).

Основными задачами курсового проектирования являются:

- систематизация и закрепление теоретических знаний студентов по основным разделам курса;
- развитие навыков самостоятельного применения теоретических и практических знаний для решения инженерно-технических задач при автоматизированном проектировании ЭА;
- расширение кругозора студента и развитие навыков самостоятельной работы над научной, патентной, технической и справочной литературой, действующей нормативно-технической документацией;
- развитие у студента творческого отношения к будущей специальности, умения оперативно использовать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки при проектировании ЭА, чувства ответственности за принятые решения;
- широкое использование вычислительной техники, пакетов прикладных программ для решения проектных задач любой степени сложности.

Темы заданий на курсовое проектирование должны соответствовать требованиям квалификационной характеристики инженеров специальностей "Медицинская электроника", "Электронно-оптические системы и технологии" и современному развитию науки и техники.

Тематика курсовой работы должна быть посвящена автоматизированному проектированию блоков электронной аппаратуры и включать:

- компоновочный расчет схемы электрической и платы печатной;
- расчет размещения модулей низшего иерархического уровня на плате печатной;
- конструкторский расчет платы печатной;
- автоматизированное проектирование платы печатной (разработка библиотек компонентов, проектирование схемы электрической и платы электронного блока);
- разработку конструкции электронного блока с помощью пакетов САПР.

В курсовых проектах данного вида решаются задачи по разработке или усовершенствованию блоков ЭА, а также разработке устройств обеспечения

производства, ремонта и обслуживания ЭА. Разработка или модернизация конструкций выполняется на уровне эскизного или технического проекта с дальнейшим отображением принятых решений в конструкторской документации (чертежах). Темами курсовых работ могут быть:

- разработка сборочного чертежа электронного узла ЭА;
- разработка комплекта конструкторской документации на механический узел ЭА с использованием системы AutoCad;
- разработка платы печатной средствами P-CAD включая подготовку конструкторской документации с помощью AutoCad;
- трехмерное проектирование технологической оснастки с использованием пакета CAD T-FLEX;
- трехмерное моделирование сборочного чертежа электронного блока с использованием пакета CAD T-FLEX;
- разработка справочно-технологической системы типовых технологических операций и технологической оснастки;
- моделирование технологического процесса создания ЭА с применением пакетов прикладных программ.

Общие правила оформления курсовой работы регламентированы ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 7.32-2001.

## 2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Техническим заданием на проектирование является задание, которое содержит тему проекта, исходные данные, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, сроки выдачи задания и защиты проекта с подписями руководителя и студента (приложение А). Задание выдается в течение первых двух недель семестра и утверждается заведующим кафедрой.

Исходными данными проекта могут быть:

- назначение и объект установки разрабатываемого изделия, его связь с другими частями устройства, внешней средой и человеком-оператором;
- схема электрическая функциональная блока ЭА;
- эксплуатационные характеристики: режим и характер работы изделия (непрерывный, циклический и т.д.), требования устойчивости проектируемого изделия к различным видам воздействий (диапазон рабочих температур, относительная влажность, частотный диапазон и уровень вибраций и т.д.);
- основные конструктивные характеристики (форма, габариты, масса);
- планируемая программа выпуска проектируемого изделия в год или указание о типе производства (массовое, крупносерийное и т.д.);
- ограничения на применяемые материалы, комплектующие элементы, технологические процессы и т.п., накладываемые условиями производства на конкретном предприятии;
- специальные требования, специфичные для проектируемого изделия и не оговоренные выше.

Курсовая работа должна соответствовать всем требованиям задания на курсовое проектирование и быть представлена к защите в установленные кафедрой сроки. Она состоит из пояснительной записки (ПЗ) (30-40 страниц текстового материала) и графической части (2-3 листа формата А2-А1, как правило, схема электрическая принципиальная электронного блока, чертеж платы печатной и сборочный чертеж блока). Общими требованиями к пояснительной записке к курсовому проекту являются: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и ясность формулировок, исключая неоднозначность толкования, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов.

Пояснительная записка к курсовому проекту комплектуется в следующем порядке: титульный лист (Приложение Б), аннотация, задание, содержание, введение, основная часть, заключение, список используемых источников, приложения.

В разделах ПЗ с исчерпывающей полнотой излагается собственная разработка или исследование студента с выявлением того нового, что он вносит в разработку проблемы (задачи). Автор проекта должен давать оценку достижения цели и полноты решения поставленных задач, оценку достоверности полученных результатов, их сравнение с аналогичными

результатами отечественных и зарубежных работ, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты, приводящие к необходимости прекращения дальнейших исследований по конкретному вопросу. По каждому разделу пояснительной записки делаются выводы.

Весь порядок изложения в ПЗ должен быть подчинен цели проектирования, сформулированной автором. Логичность построения и целеустремленность изложения основного содержания достигается только тогда, когда каждый раздел имеет определенное целевое назначение и является базой для последующих.

Структура и содержание материала ПЗ определяется тематикой проекта и как правило включает:

*Введение.* Необходимо отразить актуальность темы, оценить современное состояние решаемой технической задачи, показать перспективные пути ее решения.

*Анализ задания на курсовое проектирование.* Необходимо проанализировать и выбрать элементную базу и материалы, условия эксплуатации устройства, предполагаемые габариты изделия и технологию его изготовления, выбрать необходимые пакеты САПР для проектирования всего устройства (рекомендуется для проектирования платы печатной использовать пакет P-CAD).

*Компоновочный расчет схемы.* Необходимо выполнить функциональное (схемотехническое) проектирование, в ходе которого выбирается функционально-логическая база, разрабатываются принципиальные электрические схемы изделий электронной техники в целом и ее составных частей, оптимизируются их параметры, а также выполняется расчет покрытия. Результатом выполнения данного раздела является схема электрическая принципиальная электронного блока и перечень элементов.

*Компоновочный расчет платы.* Расчет включает определение габаритных размеров платы печатной с учетом габаритных размеров входящей в ЭА элементной базы, а также вида монтажа.

*Решение задачи размещения электронного блока.* Данный раздел содержит информацию по расчету размещения элементной базы на плате печатной в соответствии с выбранным алгоритмом размещения.

*Конструкторский расчет платы печатной.* В данном разделе производится расчет элементов проводящего рисунка. По результатам расчетов уточняются габаритные размеры блока, класс точности и группа жесткости платы печатной, а также размеры ее конструктивных элементов (диаметры отверстий, размеры контактных площадок и т.п.).

*Автоматизированная разработка платы электронного блока.* В данном разделе с учетом полученных данных необходимо создать электронные библиотеки компонентов, входящих в разрабатываемое устройство [27, 29]. С помощью разработанных библиотек компонентов в САПР создается схема электрическая принципиальная (при использовании пакета P-CAD – в

Schematic) и выполняется трассировка платы печатной с учетом рассчитанных размеров и технологических ограничений (при использовании P-CAD данные о схеме передаются в PCB, выполняется размещение корпусов изделий электронной техники на плате и трассировка по выбранным алгоритмам и технологическим ограничениям) [27, 29].

*Разработка конструкторской документации на электронный блок.* В данном разделе описываются методики и алгоритмы автоматизированного оформления конструкторской документации (КД) в соответствии с существующей нормативно-технической документацией. Для этого необходимо экспортировать данные из P-CAD в пакет САПР, выбранный для оформления документации, доработать чертежи и вывести их на печать [28, 31]. Результатом выполнения раздела является комплект КД, включающий чертежи схемы электрической принципиальной, платы печатной и сборочный чертеж электронного блока.

*В заключении* необходимо сделать выводы по результатам работ, оценить характеристики разработанного блока, привести сопоставление полученных результатов с заданием и с известными решениями.

*Список использованных источников* должен содержать материалы патентного поиска, научно-техническую и методическую литературу, нормативно-технические документы.

В зависимости от темы курсового проекта пункты ПЗ и их содержание могут уточняться руководителем проекта.

Содержание графической части зависит от темы курсового проекта. При проектировании блока ЭА графическая часть включает: 1) электрическую функциональную схему блока; 2) электрическую принципиальную схему блока; 3) сборочный чертеж электронного блока; 4) чертеж печатной платы (возможна детализация).

Курсовая работа считается законченной после того, когда все разделы задания выполнены в полном объеме, пояснительная записка и чертежи подписаны студентом [31]. После проверки руководителем пояснительной записки и графической части необходимо исправить сделанные замечания, не стирая пометок преподавателя, и подготовить доклад для защиты работы. На защиту студент предоставляет вместе с курсовой работой электронную версию графической части, а также электронные библиотеки компонентов и промежуточные результаты работы пакета по трассировке схемы.



### 3 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОКРЫТИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА

По заданной схеме функциональной (рисунок 1) необходимо выполнить компоновку и размещение электронного модуля.

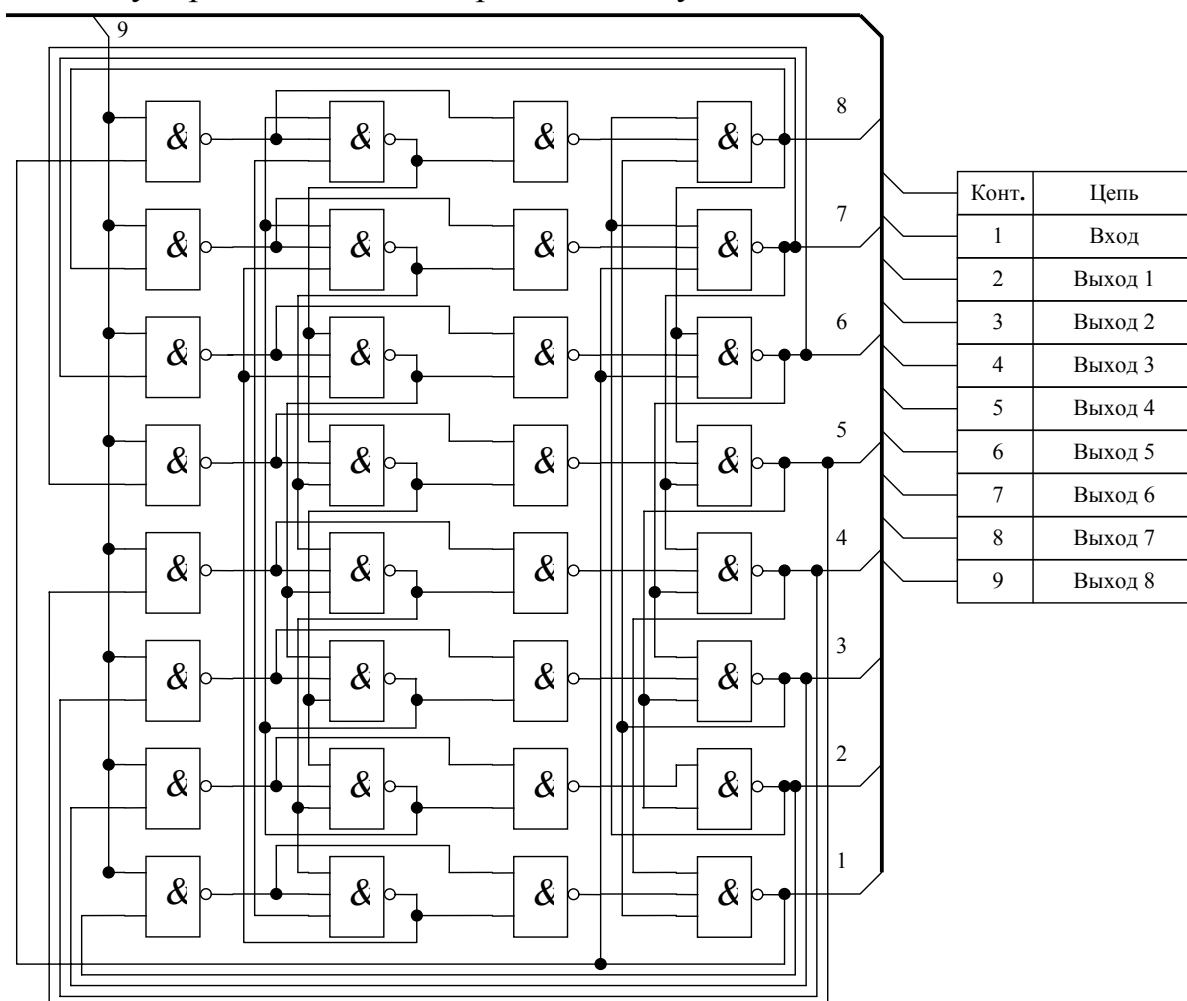


Рисунок 1 – Схема электрическая функциональная электронного модуля

#### **Решение**

При решении задачи необходимо выполнить:

- функциональное (схемотехническое) проектирование, в ходе которого выбирается функционально-логическая база, разрабатываются принципиальные электрические схемы изделий электронной техники в целом и ее составных частей, оптимизируются их параметры устройства;

- техническое (конструкторское) проектирование, которое решает задачи синтеза конструкций в целом, определяет компоновку и размещение элементов, разрабатывает топологию электрических соединений.

На первом этапе решения задачи выбирается элементная база. Электронный модуль (см. рисунок 1) содержит 16 элементов 2И-НЕ и 16 элементов 3И-НЕ. Для реализации данного устройства будем использовать следующие микросхемы (выбираются по справочной литературе):

- К561ЛА7 – содержит 4 элемента 2И-НЕ в одном корпусе;

- К561ЛА9 – содержит 3 элемента 3И-НЕ в одном корпусе.

Справочная информация для данных микросхем приведена в приложении.

**Расчет покрытия.** В качестве примера для распределения восьми элементов 3И-НЕ по корпусам микросхем К561ЛА9 вычерчиваем часть схемы электрической функциональной электронного модуля, содержащую только группу элементов 3И-НЕ, и строим соответствующий ей граф (рисунок 2).

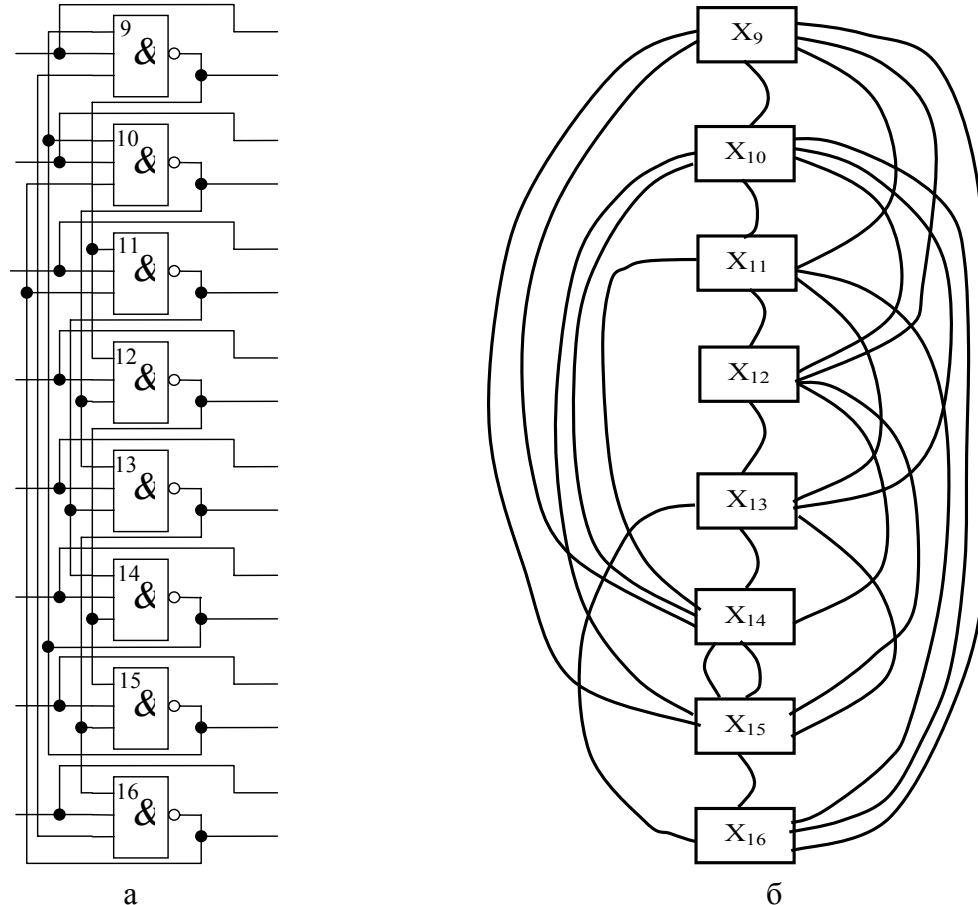


Рисунок 2 – Часть схемы электрической функциональной электронного модуля (а) и соответствующий ей граф смежности (б)

В качестве вершин графа  $X_i$  выбираются отдельные модули 3И-НЕ с соответствующими номерами. При составлении графа смежности внешние связи не учитывали, т.к. они сопрягаются с блоками другого типа (2И-НЕ).

Распределим по корпусам элементы  $X_9$ - $X_{18}$ . Для этого определяем локальные степени вершин:

$$\begin{aligned} \rho(X_9) &= 6, & \rho(X_{13}) &= 6, \\ \rho(X_{10}) &= 7, & \rho(X_{14}) &= 7, \\ \rho(X_{11}) &= 6, & \rho(X_{15}) &= 7, \\ \rho(X_{12}) &= 6, & \rho(X_{16}) &= 5. \end{aligned}$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью. Для данного примера выбрали  $X_{14}$ . Вершина  $X_{14}$  и смежные с ней  $X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}$  образуют подграф  $G(X_{14}) = \{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}\}$ .

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_i = a_i - \rho_i, \quad (1)$$

где  $a_i$  – общее число связей проверяемой вершины;  $\rho_i$  – число связей проверяемой вершины с базовой.

$$L_9 = 6 - 1 = 5,$$

$$L_{13} = 6 - 1 = 5,$$

$$L_{10} = 7 - 1 = 6,$$

$$L_{15} = 7 - 2 = 5,$$

$$L_{11} = 6 - 1 = 5,$$

$$L_{16} = 5 - 0 = 5.$$

$$L_{12} = 6 - 1 = 5,$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (для данного примера выбрали вершину с максимальным  $a_i$  –  $X_{15}$ ) и производим факторизацию вершин  $X_{14}$  и  $X_{15}$ . В результате получаем новый граф, приведенный на рисунке 3.

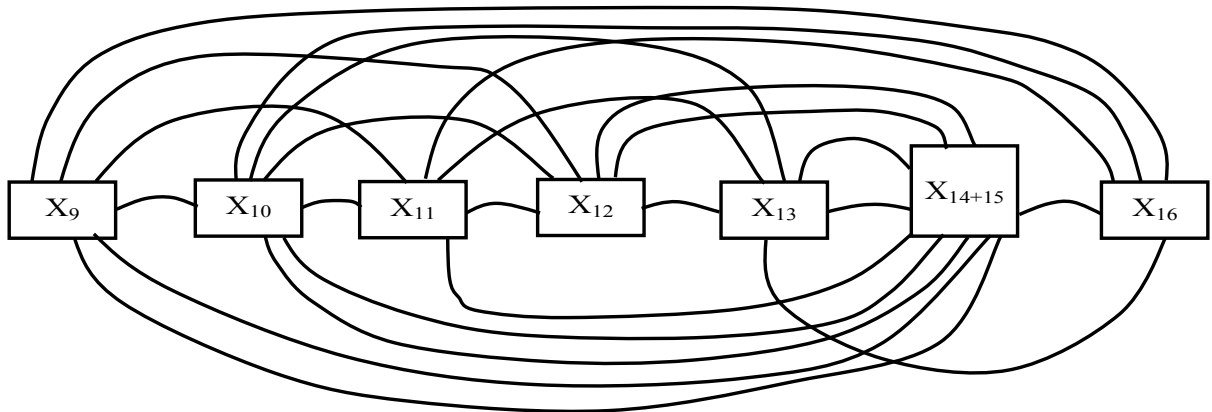


Рисунок 3 – Граф смежности части электронного модуля после первой итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\rho(X_9) = 6,$$

$$\rho(X_{13}) = 6,$$

$$\rho(X_{10}) = 7,$$

$$\rho(X_{14+15}) = 10,$$

$$\rho(X_{11}) = 6,$$

$$\rho(X_{16}) = 5.$$

$$\rho(X_{12}) = 6,$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью  $X_{14+15}$ . Вершина  $X_{14+15}$  и смежные с ней  $X_9$ ,  $X_{10}$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{16}$  образуют подграф  $G(X_{14+15}) = \{X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{16}\}$ .

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_9 = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{12} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{10} = 7 - 2 = 5,$$

$$L_{13} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{11} = 6 - 2 = 4,$$

$$L_{16} = 5 - 1 = 4.$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала ( $X_9$ ) и производим факторизацию вершин  $X_{14}$ ,  $X_{15}$  и  $X_9$ . Так как в микросхему K561ЛА9 входит три секции 2И-НЕ, то элементы 9, 14 и 15 объединяем в один корпус и исключаем их из рассматриваемого графа (рисунок 4).

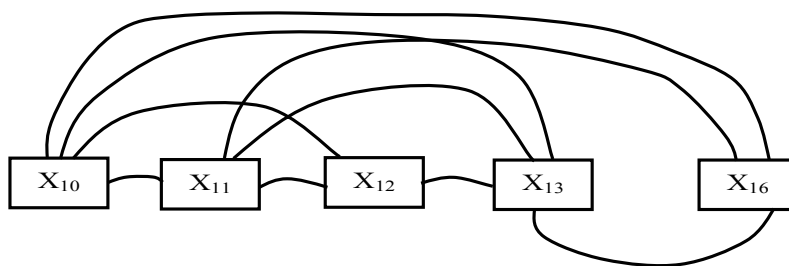


Рисунок 4 – Граф смежности части электронного модуля после второй итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\rho(X_{10}) = 4,$$

$$\rho(X_{13}) = 4,$$

$$\rho(X_{11}) = 4,$$

$$\rho(X_{16}) = 3.$$

$$\rho(X_{12}) = 3,$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью (например  $X_{13}$ ). Вершина  $X_{13}$  и смежные с ней  $X_{10}$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{16}$  образуют подграф  $G(X_{13}) = \{X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{16}\}$ .

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_{10} = 4 - 1 = 3,$$

$$L_{12} = 3 - 1 = 2,$$

$$L_{11} = 4 - 1 = 3,$$

$$L_{16} = 3 - 1 = 2.$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (например  $X_{12}$ ) и производим факторизацию вершин  $X_{13}$  и  $X_{12}$ . В результате получаем новый граф, приведенный на рисунок 5.

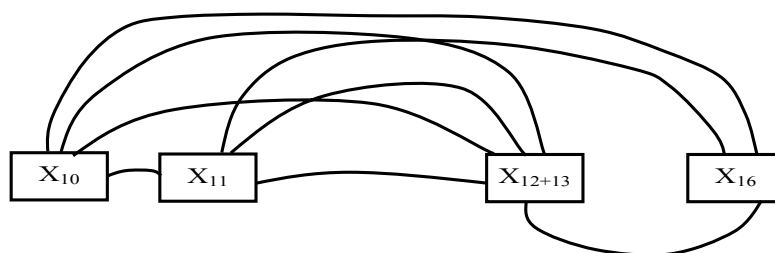


Рисунок 5 – Граф смежности части электронного модуля после третьей итерации

Определяем локальные степени вершин:

$$\rho(X_{10}) = 4,$$

$$\rho(X_{12+13}) = 5,$$

$$\rho(X_{11}) = 4,$$

$$\rho(X_{16}) = 3.$$

Принимаем за базовую вершину с большей локальной степенью ( $X_{12+13}$ ). Вершина  $X_{12+13}$  и смежные с ней  $X_{10}$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{16}$  образуют подграф  $G(X_{12+13}) = \{X_{10}, X_{11}, X_{16}\}$ .

Для каждой из этих вершин рассчитываем значение функционала:

$$L_{10} = 4 - 2 = 2,$$

$$L_{16} = 3 - 1 = 2.$$

$$L_{11} = 4 - 2 = 2,$$

Выбираем вершину с минимальным значением функционала (при равенстве функционалов выбираем вершину с максимальным  $a_i$ , например  $X_{10}$ ) и производим факторизацию вершин  $X_{10}$ ,  $X_{13}$  и  $X_{12}$ .

Элементы 10, 12 и 13 объединяем в один корпус. Оставшиеся элементы 11 и 16 также объединяем в один корпус.

Аналогичным образом производится компоновка остальных элементов по корпусам микросхем. В результате получаем схему электрическую принципиальную электронного модуля (рисунок 6). Для оформления схемы по действующим стандартам необходимо соответствующим образом перенумеровать позиционные обозначения элементов.

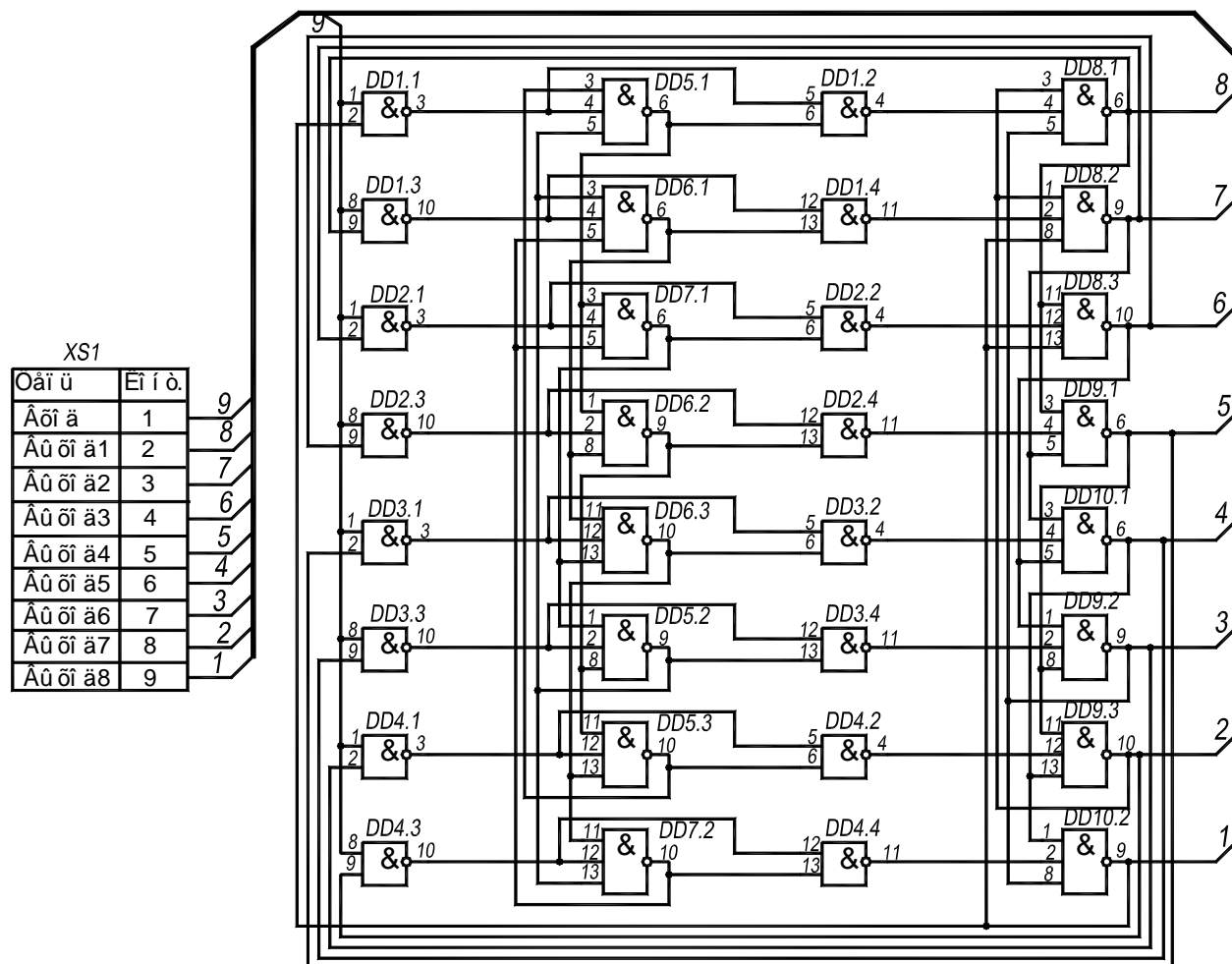


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная электронного модуля

**Решение задачи размещения.** Для построения математической модели задачи размещения удобно использовать граф смежности, в котором в качестве вершин графа – корпуса микросхем, а в качестве ребер – электрические связи между ними. На рисунке 7 представлена часть графа, описывающего схему электронного модуля.

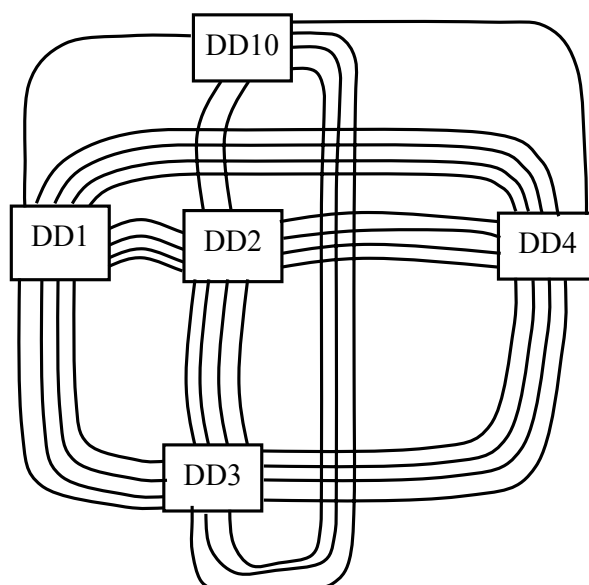


Рисунок 7 – Часть графа смежности электронного модуля

По построенному графу (см. рисунок 7) составляем матрицу смежности  $R$  для электронного модуля:

	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5	DD6	DD7	DD8	DD9	DD10	XS1	$\Sigma a_{ij}$
DD1	0	4	4	4	3	5	0	6	1	1	4	32
DD2	4	0	4	4	3	3	2	3	3	2	4	32
DD3	4	4	0	4	3	3	2	0	5	3	4	32
DD4	4	4	4	0	3	1	3	0	3	1	4	27
DD5	3	3	3	3	0	2	4	0	0	0	0	18
DD6	5	3	3	1	2	0	3	0	0	0	0	15
DD7	0	2	2	3	4	3	0	0	0	0	0	14
DD8	6	3	0	0	0	0	0	0	5	3	4	21
DD9	1	3	5	3	0	0	0	5	0	4	7	28
DD10	1	2	3	1	0	0	0	3	4	0	5	19
XS1	4	4	4	4	0	0	0	4	7	5	0	32

Определяем суммарную величину связей каждого элемента конструкции с остальными, для чего в матрице смежности  $R$  произведем построчное сложение ее элементов  $a_{ij}$  и вычислим соответственно суммы  $\Sigma a_{ij}$ .

Составляем модель монтажного пространства для электронного модуля. В качестве монтажного пространства выбираем плату печатную с 13 ячейками для размещения компонентов электронного модуля (рисунок 8)

10	11	12	13
6	7	8	9
2	3	4	5
1			

Рисунок 8 – Модель монтажного пространства электронного модуля

По модели составляем матрицу расстояний D:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
2	1	0	1	2	3	1	2	3	4	2	3	4	5
3	1	1	0	1	2	2	1	2	3	3	2	3	4
4	1	2	1	0	1	3	2	1	2	4	3	2	3
5	1	3	2	1	0	4	3	2	1	5	4	3	2
6	2	1	2	3	4	0	1	2	3	1	2	3	4
7	2	2	1	2	3	1	0	1	2	2	1	2	3
8	2	3	2	1	2	2	1	0	1	3	2	1	2
9	2	4	3	2	1	3	2	1	0	4	3	2	1
10	3	2	3	4	5	1	2	3	4	0	1	2	3
11	3	3	2	3	4	2	1	2	3	1	0	1	2
12	3	4	3	2	3	3	2	1	2	2	1	0	1
13	3	5	4	3	2	4	3	2	1	3	2	1	0

В качестве элемента, который будет фиксировано устанавливаться в ячейку 1 монтажного поля печатной платы, выбираем розетку XS1 и рассчитываем коэффициенты относительно взвешенной связности для всех оставшихся элементов:

$$\Phi_i = \frac{\sum a_{ij}}{V_i}, \quad (2)$$

где  $a_{ij}$  – количество связей между проверяемым элементом и ранее установленными (из матрицы смежности R);  $V_i$  – общее количество связей проверяемого элемента.

$$\Phi_{DD1} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD6} = \frac{0}{15} = 0,$$

$$\Phi_{DD2} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD7} = \frac{0}{14} = 0,$$

$$\Phi_{DD3} = \frac{4}{32} = 0,125,$$

$$\Phi_{DD8} = \frac{4}{21} = 0,19,$$

$$\Phi_{DD4} = \frac{4}{27} = 0,148,$$

$$\Phi_{DD9} = \frac{7}{18} = 0,25,$$

$$\Phi_{DD5} = \frac{0}{18} = 0,$$

$$\Phi_{DD10} = \frac{5}{19} = 0,26.$$

На второй итерации размещаем элемент с максимальным значением  $\Phi_i$ , т.е. элемент DD10.

Рассчитываем приращение целевой функции для незанятых ячеек монтажного пространства печатной платы:

$$\Delta F_i = a_{ij} \times r_{ij}, \quad (3)$$

где  $r_{ij}$  – расстояние между ячейками.

$$\Delta F_2 = a_{XS1DD10} \times r_{12} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_8 = a_{XS1DD10} \times r_{18} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\Delta F_3 = a_{XS1DD10} \times r_{13} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_9 = a_{XS1DD10} \times r_{19} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\Delta F_4 = a_{XS1DD10} \times r_{14} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_5 = a_{XS1DD10} \times r_{15} = 5 \times 1 = 5,$$

$$\Delta F_6 = a_{XS1DD10} \times r_{16} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\Delta F_7 = a_{XS1DD10} \times r_{17} = 5 \times 2 = 10,$$

$$\Delta F_{10} = a_{XS1DD10} \times r_{110} = 5 \times 3 = 15,$$

$$\Delta F_{11} = a_{XS1DD10} \times r_{111} = 5 \times 3 = 15,$$

$$\Delta F_{12} = a_{XS1DD10} \times r_{112} = 5 \times 3 = 15,$$

$$\Delta F_{13} = a_{XS1DD10} \times r_{113} = 5 \times 3 = 15.$$

Выбираем минимальное значение из рассчитанных  $\Delta F_i$ , это соответствует 2, 3, 4 и 5 ячейкам коммутационного поля. Заполняем ячейку с меньшим порядковым номером, т.е. элемент DD10 размещаем во вторую ячейку.

На третьей итерации рассчитываем коэффициенты относительной взвешенности элементов схемы электронного модуля:

$$\Phi_{DD1} = \frac{a_{X1DD1} + a_{DD10DD1}}{V_i} = \frac{4+1}{32} = 0,156,$$

$$\Phi_{DD6} = \frac{a_{X1DD6} + a_{DD10DD6}}{V_i} = \frac{0+0}{15} = 0,$$

$$\Phi_{DD2} = \frac{a_{X1DD2} + a_{DD10DD2}}{V_i} = \frac{4+2}{32} = 0,187,$$

$$\Phi_{DD7} = \frac{a_{X1DD7} + a_{DD10DD7}}{V_i} = \frac{0+0}{14} = 0,$$

$$\Phi_{DD3} = \frac{a_{X1DD3} + a_{DD10DD3}}{V_i} = \frac{4+3}{32} = 0,218,$$

$$\Phi_{DD8} = \frac{a_{X1DD8} + a_{DD10DD8}}{V_i} = \frac{4+3}{21} = 0,33,$$

$$\Phi_{DD4} = \frac{a_{X1DD4} + a_{DD10DD4}}{V_i} = \frac{4+1}{27} = 0,185,$$

$$\Phi_{DD9} = \frac{a_{X1DD9} + a_{DD10DD9}}{V_i} = \frac{4+7}{28} = 0,39.$$

$$\Phi_{DD5} = \frac{a_{X1DD5} + a_{DD10DD5}}{V_i} = \frac{0+0}{18} = 0,$$

На текущей итерации размещаем элемент с максимальным значением  $\Phi_i$ , т.е. элемент DD9.

Рассчитываем приращение целевой функции:

$$\Delta F_3 = a_{XS1DD9} \times r_{13} + a_{DD10DD9} \times r_{23} = 7 \times 1 + 4 \times 1 = 11, \quad \Delta F_9 = a_{XS1DD9} \times r_{19} + a_{DD10DD9} \times r_{29} = 7 \times 2 + 4 \times 4 = 30,$$

$$\Delta F_4 = a_{XS1DD9} \times r_{14} + a_{DD10DD9} \times r_{24} = 7 \times 1 + 4 \times 2 = 15, \quad \Delta F_{10} = a_{XS1DD9} \times r_{110} + a_{DD10DD9} \times r_{210} = 7 \times 3 + 4 \times 2 = 29,$$

$$\Delta F_5 = a_{XS1DD9} \times r_{15} + a_{DD10DD9} \times r_{25} = 7 \times 1 + 4 \times 3 = 19, \quad \Delta F_{11} = a_{XS1DD9} \times r_{111} + a_{DD10DD9} \times r_{211} = 7 \times 3 + 4 \times 3 = 33,$$

$$\Delta F_6 = a_{XS1DD9} \times r_{16} + a_{DD10DD9} \times r_{26} = 7 \times 2 + 4 \times 1 = 18, \quad \Delta F_{12} = a_{XS1DD9} \times r_{112} + a_{DD10DD9} \times r_{212} = 7 \times 3 + 4 \times 4 = 37,$$

$$\Delta F_7 = a_{XS1DD9} \times r_{17} + a_{DD10DD9} \times r_{27} = 7 \times 2 + 4 \times 2 = 22, \quad \Delta F_{13} = a_{XS1DD9} \times r_{113} + a_{DD10DD9} \times r_{213} = 7 \times 3 + 4 \times 5 = 41.$$

$$\Delta F_8 = a_{XS1DD9} \times r_{18} + a_{DD10DD9} \times r_{28} = 7 \times 2 + 4 \times 3 = 26,$$

Выбираем минимальное значение из рассчитанных  $\Delta F_i$ , это соответствует третьей ячейке коммутационного поля. Элемент DD9 размещаем в 3-ю ячейку.

На последующих итерациях аналогичным образом размещаем оставшиеся элементы электронного модуля в монтажном пространстве.

Элемент DD8 размещаем в ячейку 4, затем размещаем элемент DD1 в ячейку 5, так как он имеет максимальное количество связей с элементом DD8 и т.д. После размещения всех элементов модель монтажного поля печатной платы электронного блока будет выглядеть следующим образом (рисунок 9).

Таким образом, по заданной схеме функциональной (см. рисунок 1) спроектировали схему электрическую принципиальную электронного модуля (см. рисунок 6) и выполнили размещение элементов схемы на плате печатной.



10	DD7 <sub>11</sub>	DD6 <sub>12</sub>	DD5 <sub>13</sub>
6	DD3 <sub>7</sub>	DD2 <sub>8</sub>	DD4 <sub>9</sub>
DD10 <sub>2</sub>	DD9 <sub>3</sub>	DD8 <sub>4</sub>	DD1 <sub>5</sub>
XS1 <sub>1</sub>			

Рисунок 9 – Схема размещения элементов электронного модуля на плату печатную

На следующем этапе проектирования электронного модуля можно выполнять трассировку платы печатной (в ходе выполнения курсовой работы).

## 4 КОМПОНОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ПЛАТЫ

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

- отсутствовали заметные паразитные электрические магнитные взаимосвязи, влияющие на технические характеристики изделия;
- взаимное расположение элементов обеспечивало технологичность сборки и монтажа, легкий доступ для контроля, ремонта и обслуживания;
- изделие удовлетворяло требованиям технической эстетики;
- габариты и масса изделия были минимальными.

Существуют много способов компоновки элементов РЭС, среди них можно выделить два: аналитический и модельный. В основе аналитического способа лежит представление геометрических параметров РЭС в виде чисел. Основу модельного способа составляет создание физических моделей элементов, например, в виде геометрически подобного тела. В том и ином способе производится анализ общих аналитических зависимостей.

*Исходными данными для компоновочного расчета являются:* перечень элементов, габаритные и установочные размеры ИЭТ. Методика расчета приведена ниже.

1. Определяется суммарная площадь, занимаемая всеми ИЭТ:

$$S_C = \sum_{i=1}^n S_{vi} , \quad (4)$$

где  $S_{vi}$  – значение установочной площади  $i$ -го элемента,  $n$  – количество элементов.

2. Приблизительная площадь печатной платы с учетом способа монтажа (односторонний, двусторонний):

$$S_{пп} = \frac{S_C}{k_z \cdot m} , \quad (5)$$

где  $k_z$  – коэффициент заполнения платы печатной (0,3-0,8),  $m$  – количество сторон монтажа (1, 2).

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

При оценке приблизительных габаритных размеров всего устройства два размера из трех определяют по рассчитанным размерам платы печатной с учетом допусков на зазоры между платой и корпусом, толщины корпуса, особенностями дизайна устройства и т.п. Третий размер определяется с учетом максимально

высоких элементов, размещаемых на плате плюс размеры, обусловленные особенностью разрабатываемой конструкции (способ крепления платы в корпусе, толщина корпуса, наличие дополнительных деталей на корпусе и т.п.)

После расчета габаритных размеров платы полученные данные сравнивают с заданием на курсовое проектирование. При необходимости, производят корректировку конструктивных ограничений (количество сторон монтажа платы, тип элементной базы, компоновку отдельных блоков и т.п.) с целью изменения общих габаритных размеров устройства.

## 5 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Для межконтактных соединений в конструкциях ЭА на первом иерархическом уровне (ячеистый монтаж) применяется в основном печатный монтаж (с помощью печатных плат). Применение печатных плат создает предпосылки для механизации и автоматизации процессов сборки ЭА, повышает их надежность, обеспечивает повторяемость параметров монтажа (емкость, индуктивность) от образца к образцу.

Печатные платы - это элементы конструкции, которые состоят из плоских проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение элементов электрической цепи. Они получили широкое распространение в производстве ЭЛА.

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

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

Основные технические требования к печатным платам:

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

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

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

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

5. Сопротивление изоляции зависит от материала диэлектрического основания и характера электрических цепей, для стеклотекстолита оно должно быть не менее 104 МОм.

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

7. Допустимый уровень рабочего напряжения зависит от расстояния между

проводниками: для 2..4 классов Ураб – до 50 В, для 1 класса Ураб – до 100 В.

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

*ГОСТ 10317-79*: рекомендуется использовать платы прямоугольной формы, размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными: 2,5; 5 или 10 при длине соответственно до 100; до 350 и свыше 350 мм. Максимальный размер любой из сторон не рекомендуется превышать 470 мм, соотношение сторон – не более 3 : 1. Данные ограничения обусловлены в основном возможностями технологического оборудования по изготовлению печатных плат (ПП). При необходимости возможно отклонение габаритов, соотношения сторон и формы ПП от рекомендуемых.

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

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

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

### **5.1. Последовательность разработки и расчета конструкции ПП**

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

### **5.2. Анализ ТЗ и выбор группы жесткости**

На данном этапе определяют условия эксплуатации, хранения и транспортировки РЭС, условия сборки узлов, требования по ремонтпригодности, технологичности, стоимости и т.д.

Затем определяют группу жесткости по климатическим факторам. В соответствии с ГОСТ 23752-79 выделяют 4 группы жесткости (таблица 1).

Таблица 1 – Группы жесткости печатных плат

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

### 5.3. Выбор типа ПП

В зависимости от сложности схемы, реализуемой на ПП, а также возможностями технологического оборудования и экономическими критериями выбирают тип ПП: ОПП, ДПП или МПП. При выборе типа ПП следует учитывать, что трудоемкость изготовления ПП приблизительно оценивается пропорцией: ОПП:ДПП:МПП = 1:4:20. ОПП наиболее простые и дешевые, но имеют малые коммутационные способности. В современных РЭС наиболее часто используют ДПП и МПП.

### 5.4. Выбор класса точности ПП

Класс точности определяет наименьшие минимальные значения основных размеров конструктивных элементов (ширина проводника, расстояния между центрами 2-х проводников (контактных площадок), ширина гарантийного пояса металлизации контактной площадки и др.). ГОСТ 23751-86 определяет 5 классов точности. Минимальные размеры конструктивных элементов уменьшаются с 1 по 5-й классы точности (таблица 2).

Таблица 2 – Классы точности печатных плат

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

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

### 5.5. Выбор размеров и конфигурации ПП

Предварительный выбор размеров и конфигурации ПП выполняется на стадии компоновочного расчета.

Размеры и конфигурация ПП определяется конструктивными параметрами блоков ЭА более высокой иерархии. При выборе размеров ПП необходимо придерживаться принципа – максимальное количество связей выполнять с помощью печатного монтажа и даже внутри корпусов ИМС и т.п.

Быстродействие, установочные размеры, эксплуатационные характеристики, технологические особенности, автоматизация и т.п. – также влияют на выбор размеров и конфигурации ПП. Необходимо выбирать размеры

и конфигурацию ПП по ГОСТ 10317-79.

Толщину ПП определяют в зависимости от механических нагрузок на ПП. Также определяется диаметром отверстий.

Обычно выполняется правило:

$$H > (2,5 \div 5) \cdot d_0, \quad (6)$$

где  $H$  – толщина ПП,  $d_0$  – минимальный диаметр отверстий.

Для ОПП и ДПП толщина определяется

$$H = H_M + n \cdot h_\phi, \quad (7)$$

где  $H_M$  – толщина материала основания,  $n$  – количество слоев ПП,  $h_\phi$  – толщина фольги.

Для МПП:

$$H = \sum_{i=1}^n H_C + (0,6 \div 0,9) \sum_{j=1}^{n-1} H_{i\phi} + 2h_I, \quad (8)$$

где  $H_C$ ,  $H_{np}$  – номинальная толщина материала слоя и прокладки, причем последняя должна быть не менее двух толщин печатных проводников;  $h_I$  – толщина нанесенных на плату покрытий.

## 5.6. Выбор материалов ПП

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

В качестве основы в слоистых пластиках используют стеклотекстолиты – спрессованные слои стеклоткани, пропитанные эпоксифенольной смолой и другие материалы (таблица 3). Они отличаются широким диапазоном рабочих температур, низким (0,2—0,8 %) водопоглощением, высокими значениями объемного и поверхностного сопротивлений, стойкостью к короблению. Смолы определяют практически все электрические и механические характеристики материала (предел прочности, влагопоглощение, сопротивление изоляции, электрическая прочность, диэлектрическая проницаемость, потери и т.п.). Выбор материала ПП также зависит от технологии изготовления ПП.

Характеристики некоторых диэлектриков приведены ниже.

Общие характеристики ламинатов FR4:

- класс огнестойкости 94V-0;
- весь материал поставляется с ультрафиолетовой блокировкой;
- возможная толщина фольги – от 18 до 105 мкм;
- стандартный размер листа 1041x1245 мм. По заказу могут поставляться листы других размеров.

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

КВ 2150 GC (FR-2) – фольгированный гетинакс (основа из целлюлозной бумаги, пропитанной фенольной смолой), широко применяется при изготовлении печатных плат для бытовой электроники, аудио-, видео техники, в автомобилестроении. Обладая всеми свойствами FR2, данный материал обладает повышенными показателями жаро - и влагуостойчивости. Не содержит галогенов и сурьмы.

Таблица 3 – Основные материалы для изготовления плат

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

Для защиты контактных площадок и концевых ламелей ПП от внешних воздействий в настоящее время используют различные конструктивные покрытия (таблица 4).

Таблица 4 – Толщина различных финишных покрытий

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

В технических требованиях к плате печатной указываются обозначения только конструктивных покрытий, например Хим.М.М24 О-С(61) 10-15 опл. При использовании в качестве покрытия драг-металлов необходимо указывать



массу покрытия.

Сверху на ПП для защиты проводников от замыканий при пайке и т.п. наносят слой диэлектрической защиты (лак, эмаль, пленочные резисты и т.п.) (таблица 5).

Таблица 5 – Защитные паяльные маски

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

## 5.7. Расчет элементов печатного рисунка

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

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

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

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (9)$$

где  $I_{\max}$  – максимальный постоянный ток через проводник, А (определяется из анализа электрической схемы);  $j_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока, выбирается в зависимости от метода изготовления ПП (таблица 6);  $t$  – толщина проводника, мм.

Таблица 6 – Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

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

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

$$b_{\min 2} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l}{U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (10)$$

где  $\rho$  – удельное объемное сопротивление материала (см. табл. 7.10);  $l$  – максимальная длина проводника, м;  $U_{\text{доп}}$  – допустимое падение напряжения, В (определяется из анализа электрической схемы).

Допустимое падение напряжения на проводниках не должно превышать 5 % от питающего напряжения для микросхем и не более запаса помехоустойчивости микросхем.

4. Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий  $d$ :

$$d = d_{\text{э}} + |\Delta d_{\text{н.о}}| + r. \quad (11)$$

где  $d_{\text{э}}$  – максимальный диаметр вывода устанавливаемого ИЭТ, мм;  $\Delta d_{\text{н.о}}$  – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия (определяется классом точности ПП и диаметром отверстия) (табл. 7.11), мм;  $r$  – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода ИЭТ, ее выбирают в пределах 0,1...0,4 мм. Рассчитанные значения  $d$  сводят к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм и т.д.

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

$$D_{\min} = D_{\text{лmin}} + 1,5h_{\phi}, \quad (12)$$

где  $h_{\phi}$  – толщина фольги;  $D_{\text{лmin}}$  – минимальный эффективный диаметр площадки:

$$D_{\text{лmin}} = 2(b_i + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (13)$$

где  $b_m$  – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки;  $\delta d$  и  $\delta p$  – допуски на расположение отверстий и контактных площадок (см. таблицу 11.5);  $d_{\max}$  – максимальный диаметр просверленного отверстия, мм:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1...0,15), \quad (14)$$

где  $d$  - допуск на отверстие (см. таблица 7).

Таблица 7 – Допуски на расположение отверстий и контактных площадок

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

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

при фотохимическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{l\min} + 1,5h_{\delta} + 0,03; \quad (15)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{l\min} + 1,5h_{\delta} + 0,08. \quad (16)$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом:

при фотохимическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{l\min} + 0,03; \quad (17)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка:

$$D_{\min} = D_{l\min} + 0,08. \quad (18)$$

Максимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02...0,06). \quad (19)$$

**Для каждого типоразмера ИЭТ проводится расчет диаметров отверстий и контактных площадок.**

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

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\delta}, \quad (20)$$

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

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

при фотохимическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\delta} + 0,03; \quad (21)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\delta} + 0,08. \quad (22)$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом:

при фотохимическом способе получения рисунка:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,03; \quad (23)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,08. \quad (24)$$

Максимальная ширина проводников

$$b_{\min} = b_{1\min} + (0,02...0,06). \quad (25)$$

7. Определяем минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка.

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l)], \quad (26)$$

где  $L_0$  - расстояние между центрами рассматриваемых элементов;  $\delta l$  - допуск на расположение проводников (см. табл. 7.11).

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} + \delta p)]. \quad (27)$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} + \delta l)]. \quad (28)$$

8. Величина паразитной емкости между двумя проводниками, пФ:

$$\tilde{N}_{i\delta} = \frac{0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_n}{\ln \frac{2 \cdot S}{h + t_n}}, \quad (29)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала основания печатной платы;  $l_n$  – длина взаимного перекрытия проводников, мм;  $S$  – ширина зазора между краями печатных проводников, мм;  $h$  – ширина печатного проводника, мм.

9. Индуктивность печатных проводников рассчитываем по формуле, мкГн:

$$L = 2 \cdot l_n \cdot \left( 2,3 \cdot \frac{l_n}{h + t_n} + 0,2235 \cdot \frac{h + t_n}{l_n} + 0,5 \right) \cdot 10^{-2}. \quad (30)$$

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

$$R_s = \rho_s \cdot \frac{S}{l}, \quad (31)$$

где  $R_s$  – сопротивление изоляции разобщенных печатных цепей, Ом;  $\rho_s$  – удельное поверхностное сопротивление изоляционного основания, Ом/□;  $S$  – изоляционный зазор разобщенных цепей, мм;  $l$  – длина изоляционного зазора, м.

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

$$P_f = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (32)$$

где  $f$  – частота питающего напряжения схемы, МГц;  $C$  – емкость печатной платы, мкФ;  $U$  – напряжение питания, В;  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь материала основания платы.

Емкость печатной платы вычисляют по формуле, пФ:

$$\tilde{N} = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot F}{H}, \quad (33)$$

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

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

### 5.8. Выбор и размещение элементов печатного рисунка

Размещение отверстий и других элементов печатного рисунка производят относительно базы координат координатной сетки в соответствии с принятым при разработке печатного узла расположением навесных элементов и их выводов. Основной шаг линий, используемый в координатной сетке, равен 2,5 мм; допускаются вспомогательные шаги –1,25; 0,625 и 0,5 мм (зависят от используемой элементной базы).

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

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

четырьмя.

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

Печатные проводники следует выполнять постоянной, возможно большей ширины и располагать равномерно, на возможно большем расстоянии от соседних элементов. Проводники обычно располагают параллельно линиям координатной сетки или под углом  $45^0$  к ним. На соседних проводящих слоях платы проводники располагаются во взаимно-перпендикулярных направлениях для уменьшения перекрестных помех. Печатные проводники шириной более 3 мм выполняют с вырезами, по правилам выполнения экранов.

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

### 5.9. Трассировка печатных проводников

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

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

Ортогональное направление трасс позволяет свести к минимуму взаимное влияние проводников, расположенных на разных слоях и упрощает процесс разводки проводников. Возможно также изменение направления трассы под углом  $45^0$  или  $90^0$  к первоначальному направлению, а также первоначальные сдвиги относительно выбранного направления. Желательно, однако, чтобы трассы не имели форму лесенки, а по возможности приближались к прямой.

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

### 5.10. Маркировка и контроль

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

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

*Основная* маркировка должна содержать:

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

*Дополнительной* маркировкой по необходимости могут быть нанесены на

ПП: позиционное обозначение навесных ИЭТ; изображение контуров навесных ИЭТ; цифровое обозначение первого вывода ИЭТ, контрольных точек; обозначение положительного вывода полярного ИЭТ (знак "+") и др.

Место расположения и данные по маркировке должны быть указаны на чертеже ПП в соответствии с ГОСТ 2.314-68.

*В учебных чертежах необходимо указывать как основную, так и дополнительную маркировку.*

### **5.11. Оформление КД**

Оформление КД документации на печатные платы должно производиться в соответствии с ГОСТ 2.109-73 и ГОСТ 2.417-78. Чертеж ОПП или ДПП должен содержать основные проекции платы с печатными проводниками и другими элементами (отверстиями, контактными площадками и т.п.).

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

## 6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ В P-CAD

Система автоматизированного проектирования (САПР) электронной аппаратуры P-CAD на сегодняшний день является одной из самых мощных, полных и последовательных систем автоматизированного проектирования для персональных компьютеров.

САПР P-CAD представляет собой пакет специализированных модулей, тесно связанных друг с другом и охватывающих все этапы разработки и изготовления однослойных и многослойных печатных плат.

Программные средства системы позволяют автоматизировать весь процесс проектирования электронных средств, начиная с ввода принципиальной схемы, ее моделирования, упаковки схемы на печатную плату, интерактивного размещения радиоэлектронных компонентов на плате и автотрассировки соединений, вплоть до получения конструкторской документации и подготовки информации для производства плат на технологическом оборудовании.

Поставляемые с системой P-CAD библиотеки не соответствуют белорусским стандартам, поэтому для успешного проектирования печатных плат важно уметь создавать новые библиотечные компоненты и редактировать старые.


Интегрированные библиотеки P-CAD 2001/02 содержат компоненты (*components*), корпуса (*pattern*) и символы (*symbol*). На схеме компонент представлен символом, а на печатной плате – корпусом. Кроме графики символа и корпуса в библиотеке содержится информация об упаковке в корпус (подвод питания, подключение выводов и т.д.). Единство символа, графики корпуса и упаковочной информации и составляет понятие компонента. Преимущество интегрированных библиотек заключается в том, что упаковочная информация для каждого компонента хранится в одном месте и должна вводиться всего один раз.

Поэтому при создании библиотеки компонентов в PCAD 2001/02 необходимо:

- 1) создать новую библиотеку;
- 2) в редакторе Symbol Editor создать символ компонента и сохранить его в библиотеку под своим именем;
- 3) в редакторе Pattern Editor создать корпус компонента и сохранить его в библиотеку под своим именем;
- 4) в блоке Library Executive произвести объединение (упаковку) корпуса и символа в один компонент.

### 6.1. Создание библиотеки компонентов

Все необходимые действия с библиотеками выполняются с помощью менеджера библиотек **Library Executive**.

Новая библиотека создается командой меню **Library/New**. В открывшемся диалоговом окне (рисунок 10) с помощью команды  **Create New Folder** создаем новую папку проекта (например папку **MyProject**) и записываем новую библиотеку **MyLibrary** (кнопка **Save**).



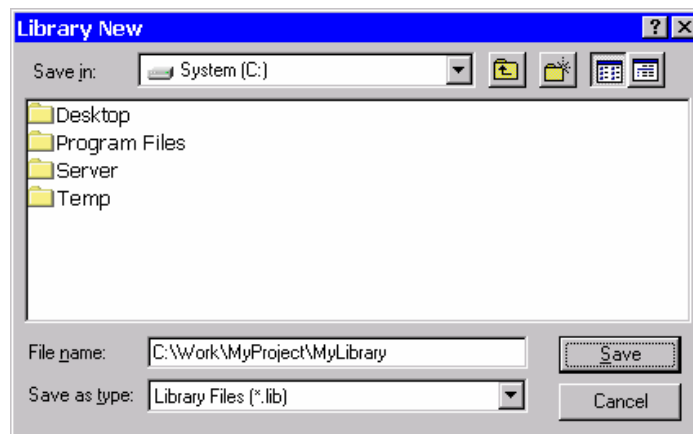



Рисунок 10 – Диалоговое окно Library New

**6.2. Создавать символы компонентов** можно тремя различными способами:

- 1) в редакторе P-CAD Schematic;
- 2) в редакторе P-CAD Symbol Editor;
- 3) путем редактирования существующего символа компонента.

Наиболее удобно создавать символы компонентов в редакторе P-CAD Symbol Editor.

Редактор P-CAD Symbol Editor имеет аналогичный с основным редактором P-CAD Schematic экран (рисунок 11). В P-CAD Symbol Editor работают с файлами библиотек (\*.LIB) и отдельных символов (\*.SYM). Система единиц, набор толщин линий и ряд других глобальных параметров P-CAD Symbol Editor сохраняются в файле конфигурации SymEd.INI: например, система единиц устанавливается с помощью ключевого слова Units, принимающего значения 0 – mil, 1 – inch, 2 – мм. По умолчанию устанавливается сетка 100 mil или 2,54 мм, поэтому необходимо предварительно настраивать параметры редактора в меню **Options**.

При создании символов компонентов с большим количеством выводов удобен «Мастер Символов», вызываемый по команде **Symbol Wizard** меню **Symbol** или кнопкой . В его диалоговом окне (рис. 8.14) указывается следующая информация: **Symbol Width** – ширина символа; **Pin Spacing** – расстояние между смежными выводами; **Length** – длина вывода (Short, Normal, Long, User); **Number Pin Left (Right)** – количество выводов на левой (правой) стороне символа; **Symbol Outline** – необходимость изображать контур символа; **Line Width** – ширина линии контура символа; **Display Pin Name (Pin Des)** – необходимость указывать на чертеже символа имена (номера) выводов; **Default Pin Name** – имя первого вывода, принимаемое по умолчанию (не более 20 символов); **Default Pin Designator** – номер первого вывода, принимаемый по умолчанию; **Current Pin Number** – порядковый номер текущего вывода.

Нажатие на клавишу **Finish** завершает создание символа и его изображение заносится в библиотеку по команде **Symbol>Save** или **Symbol>Save As**. В связи с тем, что «Мастер Символов» всегда создает прямоугольный символ без разбиения на зоны, графику символа обычно

требуется редактировать.

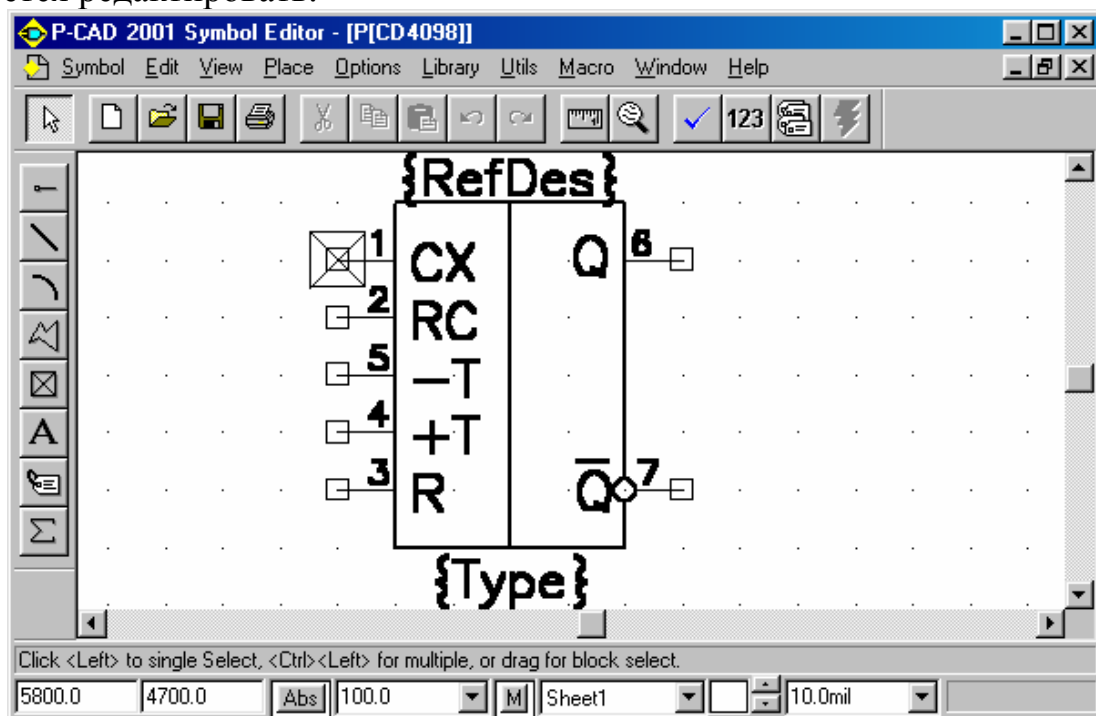


Рисунок 11 – Диалоговое окно **Symbol Editor**

При ручном рисовании символа полезна команда **Place>Pin**, диалоговое окно которой (рисунок 12) в удобной форме содержит всю информацию, необходимую для настройки режима размещения выводов символов, и окно для просмотра их графики.

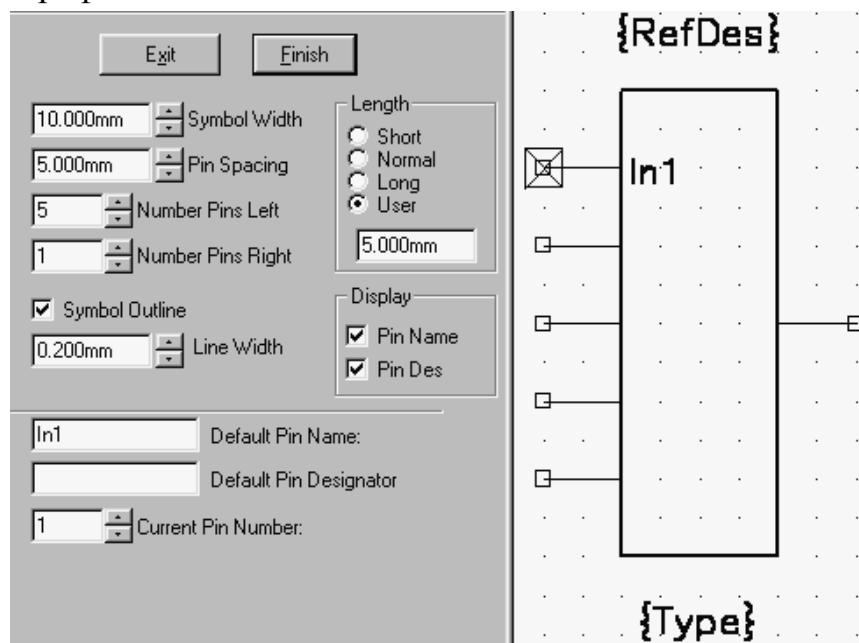


Рисунок 12 – Диалоговое окно **Symbol Wizard**

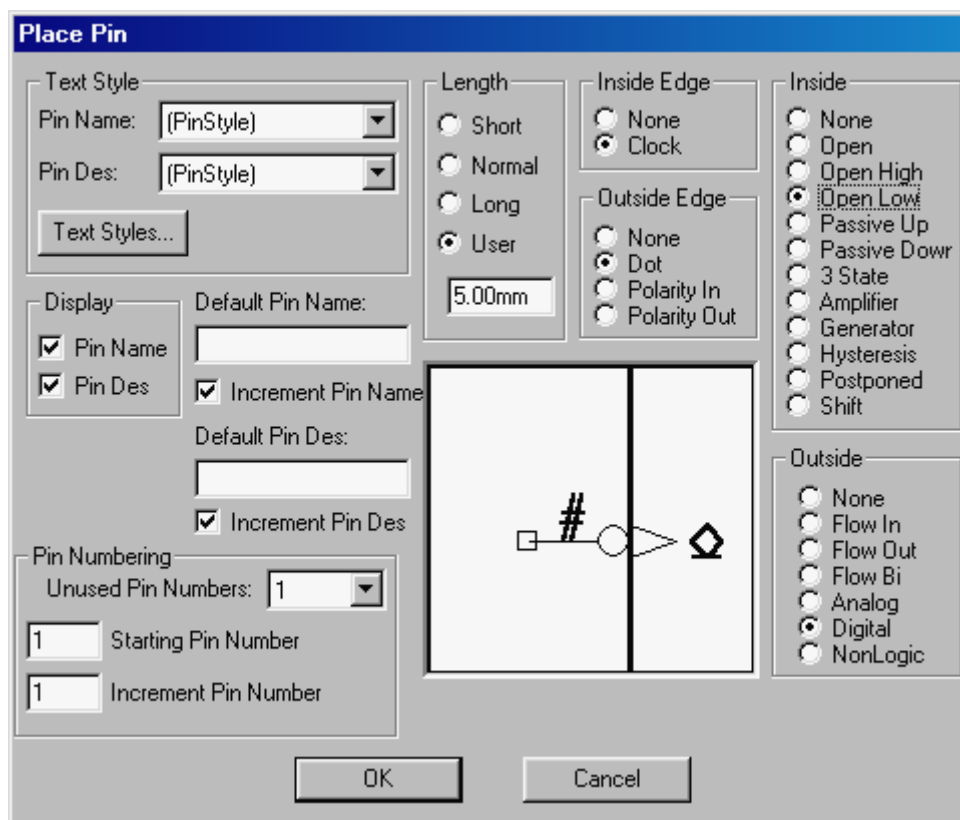


Рисунок 13 – Диалоговое окно **Place Pin**

Проверка корректности создания символа компонента осуществляется с помощью команды **Utils/Validate** или кнопки . Если обнаружена ошибка, откроется окно с описанием ошибки (рисунок 14, а). В данном случае возникла ошибка *Found duplicate pin number* (найлены выводы с одинаковыми номерами). Если ошибок не обнаружено, появится окно (рисунок 14, б) со строкой *No errors found!* – ошибок не обнаружено и такой символ разрешается заносить в библиотеку.

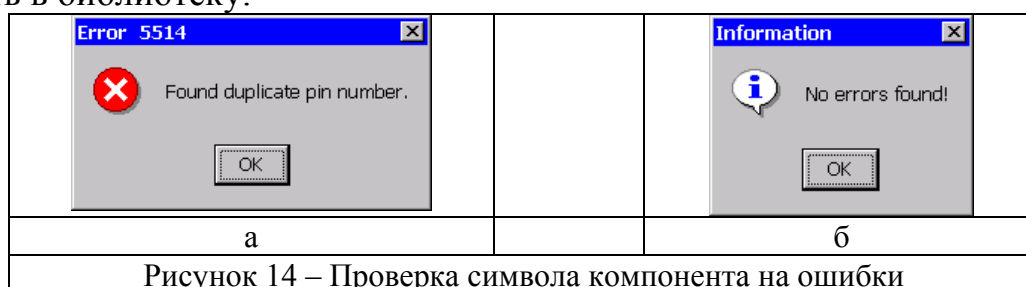


Рисунок 14 – Проверка символа компонента на ошибки

С помощью P-CAD Symbol Editor вводятся атрибуты символов, сохраняемые в библиотеках. Эти атрибуты вводятся и редактируются по команде **Symbol>Attributes** или по команде **Place>Attribute** . Удобнее вводить атрибуты с помощью P-CAD Symbol Editor, а не с помощью P-CAD Schematic, так как при создании библиотеки компонентов с однотипными атрибутами проще их ввести один раз, копировать вместе с символом и затем редактировать.

**6.3. Создавать корпуса компонентов** можно также тремя различными способами:

- 1) в редакторе P-CAD PCB;
- 2) в редакторе P-CAD Pattern Editor;
- 3) путем редактирования существующего корпуса компонента.

Наиболее удобно создавать символы компонентов в редакторе P-CAD Pattern Editor.

При создании корпуса компонента необходимо помнить, что создается проекция корпуса на плату с отформованными выводами. В общем случае *вид проекции корпуса может значительно отличаться от внешнего вида корпуса компонента.*

Экран редактора корпусов компонентов P-CAD Pattern Editor (рисунок 15) в основном такой же, как экран основного редактора P-CAD PCB. В нем работают с файлами библиотек (\*.LIB) и отдельных корпусов (\*.PAT).

В P-CAD Pattern Editor параметры конфигурации сохраняются в файлах отдельных символов «\*.PAT». Поэтому можно установить необходимый набор сеток и сохранить «пустой» файл шаблона корпуса по команде **File>Copy To File As**. Система единиц и ряд других глобальных параметров сохраняются в файле конфигурации PatEd.INI. Перед вызовом программы P-CAD Pattern Editor устанавливается нужный файл конфигурации и по команде **File>Open** загружается шаблон корпуса.

По команде **Options/Pad Style** осуществляется просмотр и изменение стеков контактных площадок. Размеры контактных площадок и диаметры отверстий для печатных плат определяются в соответствии с выбранным классом точности.

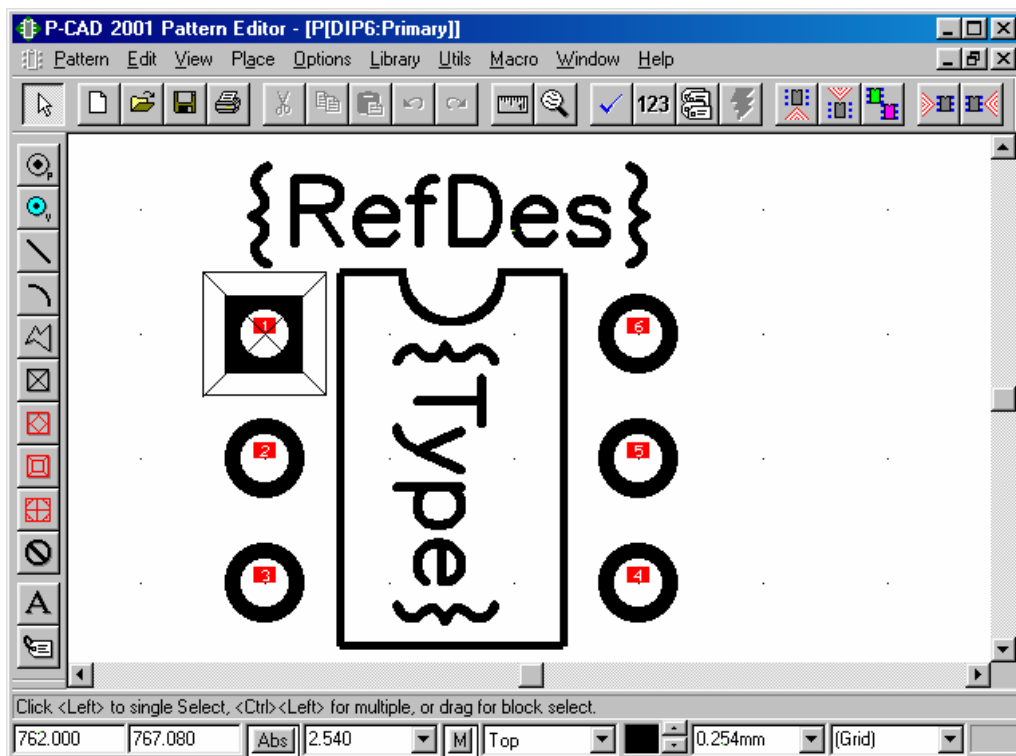
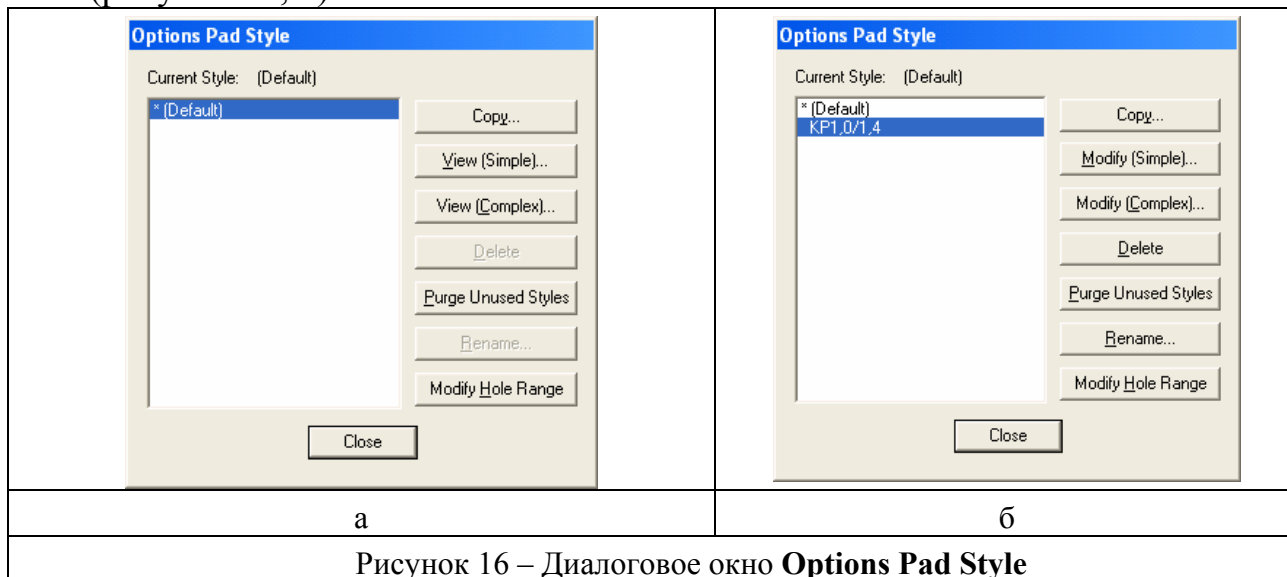


Рисунок 15 – Экран P-CAD Pattern Editor

При начальной загрузке программы в окне **Options Pad Style** (рисунок 16,

а) в разделе **Current Style** показан только один стиль [**Default**] (по умолчанию). Он используется как прототип для разработки остальных стилей для стеков контактных площадок. Для примера создадим новый стиль для монтажного отверстия с круглой и прямоугольной контактными площадками с внутренним диаметром  $d=1,0$  мм и внешним  $D=1,4$  мм. Для этого в окне **Options Pad Style** щёлкаем по кнопке **Copy** и в открывшемся окне **Copy Pad Style** вводим имя для круглой контактной площадки (например **KP1,0/1,4**) и затем щёлкаем по кнопке **OK** (рисунок 16, б).



Для редактирования *простого* стека контактных площадок (форма и размер контактных площадок одинаковая на всех слоях платы) необходимо выбрать кнопку **Modify (Simple)**. В открывшемся окне **Modify Pad Style** устанавливаем следующие параметры. В разделе типа отверстия **Type** указываем сквозное **Thru** (используются компоненты со штыревыми выводами). В разделе формы контактной площадки **Shape** указываем значение **Ellipse** (эллиптическая), а в полях ширины **Width** и длины **Height** контактной площадки указываем значение **1.4**. В разделе **Hole** в поле **Diameter** указываем диаметр отверстия **1.0** и устанавливаем флажок **Plated** (металлизация) (рисунок 17 – 17).

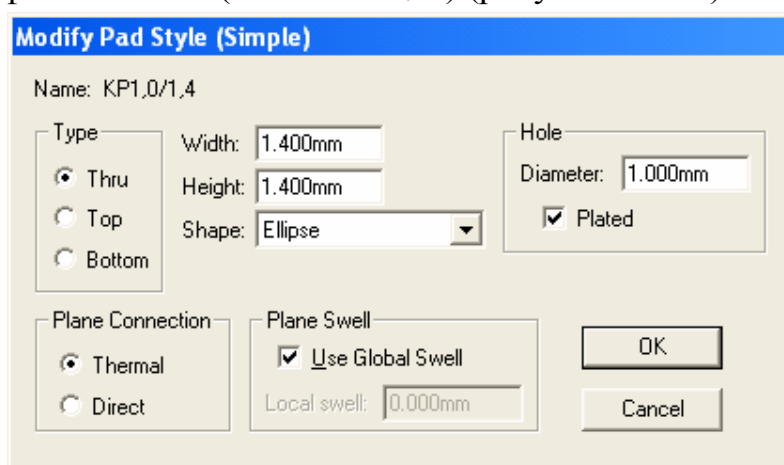



Рисунок 17 – Диалоговое окно **Modify Pad Style**

Аналогично создается и редактируется стиль для прямоугольной контактной площадки, используемой для компонентов поверхностного монтажа, но в разделе типа отверстия **Type** указываем **Top** (сверху платы). В разделе формы контактной площадки **Shape** указываем значение **Rectangle** (прямоугольная), а в полях ширины **Width** и длины **Height** контактной площадки указываем значение, соответствующие справочным или рассчитанным данным о контактной площадке конкретного компонента. Раздел **Hole** при этом будет недоступным.

Затем по команде **Pattern Wizard**  вызывается «Мастер создания корпусов компонентов». В его диалоговом окне (рисунок 18) указывается следующая информация: **Pattern Type** - тип корпуса (посадочного места) компонента; **Number of Pads Down** - число строк выводов; **Number of Pads Across** - число столбцов в массиве выводов; **Pad to Pad Spacing (On Center)** - расстояние между центрами выводов; **Pattern Width** - расстояние между крайними столбцами выводов (для корпусов DIP, QUAD); **Pattern Height** - расстояние между крайними строками выводов (для корпуса QUAD); **Pad 1 Position** - расположение первого вывода (для корпусов DIP, QUAD); **Pad Style** - тип стека контактной площадки (КП) (отдельно для первого и остальных выводов); **Silk Screen** - необходимость изображения контура корпуса; **Silk Line Width** - ширина линий контура корпуса; **Silk Rectangle Pattern Width** - ширина корпуса компонента; **Silk Rectangle Pattern Height** - высота корпуса компонента; **Rotate** - признак поворота контактных площадок на 90°; **Notch Type** - тип скоса графики корпуса компонента (в верхнем левом углу, в нижнем левом углу и т. п.).

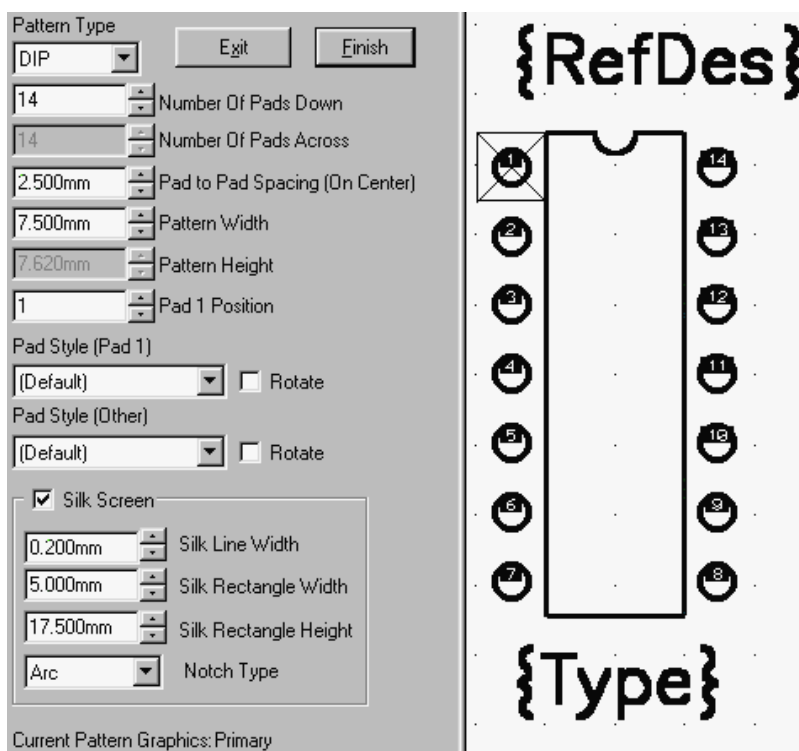




Рисунок 18 – Диалоговое окно P-CAD Pattern Wizard

Нажатие на клавишу **Finish** завершает создание корпуса компонента, после чего его изображение переносится на основной экран редактора **Pattern Editor**. Здесь его графику можно обычным способом отредактировать и затем занести в библиотеку по команде **Pattern>Save** или **Pattern>Save As**.

Одному символу компонента может соответствовать несколько корпусов (DIP, SMT, flat-pack и т.п.). По команде **Pattern>Add Pattern Graphics**  к основному изображению графики корпуса компонента (оно по умолчанию носит название Primary) добавляется альтернативное. Назначение альтернативных корпусов выполняется в программе Library Executive по команде **Library>Pattern Graphics**.

При редактировании существующего корпуса в рабочее окно редактора помещают изображение корпуса, хранящееся в библиотеке как единый объект. Затем его преобразуют в набор графических примитивов, что дает возможность внесения изменений и дополнений. После модификации корпус заносится в библиотеку под новым именем и сохраняется как единое целое. Последовательность действий такова.

1. Нажатием пиктограммы  включают режим выбора объектов и указывают редактируемый корпус щелчком левой кнопки мыши.

2. По команде **Edit>Explode Component** выбранный корпус преобразуется в набор графических примитивов. Если добавлены или удалены выводы компонента, то нужно заново их пронумеровать по команде **Utils>Renumber**. Для этого перед выполнением команды включают режим выбора объектов, а в меню команды указывают режим перенумерации выводов **Pad Number**. После закрытия меню команды все выводы, подлежащие перенумерации, по очереди помечают щелчком мыши в порядке возрастания их номеров, начиная с первого (перенумерованные выводы окрашиваются).

3. После внесения всех изменений корпус заносят в библиотеку. Сначала выполняют операцию блочного выбора всех принадлежащих ему графических объектов, заключая их в прямоугольную рамку. Далее по команде **Library>Pattern Save As** заносят корпус в библиотеку. В списке **Library** выбирают имя одной из открытых библиотек и в графе **Pattern** вводят имя нового корпуса. Если компонент в целом будет создаваться в дальнейшем с помощью Library Executive или Library Manager, не нужно включать опцию **Create Component**.

#### **6.4. Менеджер библиотек компонентов**

В системе P-CAD поддерживаются два типа библиотек:

- 1) интегрированные библиотеки компонентов;
- 2) отдельные библиотеки символов и корпусов компонентов.

В интегрированную библиотеку заносятся данные трех типов:

- 1) текстовая информация о компонентах;
- 2) графика корпусов;
- 3) графика символов компонентов.

Способы создания графики корпусов и символов указаны выше. Менеджер



библиотек Library Manager или Library Executive заносит эти данные в интегрированную библиотеку и добавляет текстовую информацию о компонентах.

Использование интегрированные библиотеки при проектировании печатных плат в P-CAD предпочтительнее, так как это позволяет выполнять:


- “горячую связь” между графическими редакторами;
- прямую и обратную корректировку проекта;
- перестановку логически эквивалентных выводов и секций компонентов.

Содержание загруженных библиотек просматривают в графических редакторах по команде **Place>Part** или **Place>Component**, а также в менеджере библиотек по команде **Component>Open**.

Library Executive имеет ряд дополнительных средств по сравнению с Library Manager:

- включена команда **Query** для поиска компонентов в библиотеках по заданному набору атрибутов;
- при использовании Library Executive возможно применение редактора символов Symbol Editor и редактора корпусов Pattern Editor.

Упаковка компонентов в Library Executive – самый трудоемкий и ответственный этап в создании библиотечного компонента. Неправильное заполнение таблицы упаковки ведет к ошибочной трассировке печатной платы и даже к невозможности ее проектирования.

После загрузки программы Library Executive на строке инструментов доступны только пиктограммы **Component>New**, **Component>Open** и **View>Source Browser**  (недоступные пиктограммы и строки меню окрашены в серый цвет, при вызове **Source Browser** щелчком правой кнопки мыши открывается выпадающее меню, содержание которого зависит от типа объекта, выбранного в окне). После загрузки существующего компонента или открытия нового по командам **Component>Open**, **Component>New** на экране появляется диалоговое окно **Component Information**, показанное в левом верхнем углу рисунок 19.

На трех остальных окнах этого рисунка представлена детальная информация о компоненте, позволяющая установить связь между выводами символа и корпуса компонента. Всего меню Library Executive имеет четыре основных окна.

**1. Окно Component Information.** В этом окне представлена общая информация о компоненте:

- в строке Select Pattern выбирается тип корпуса компонента, например SO 14;
- в строке Number of Gates – задается число секций в компоненте;
- в строке Number of Pads – указывается общее число выводов;
- в строке Refdes Prefix – задается префикс позиционного обозначения компонента;
- в разделе Component Type выбирают тип компонента (который принимается во внимание при составлении списков соединений и заполнении



граф отчетов о проекте):

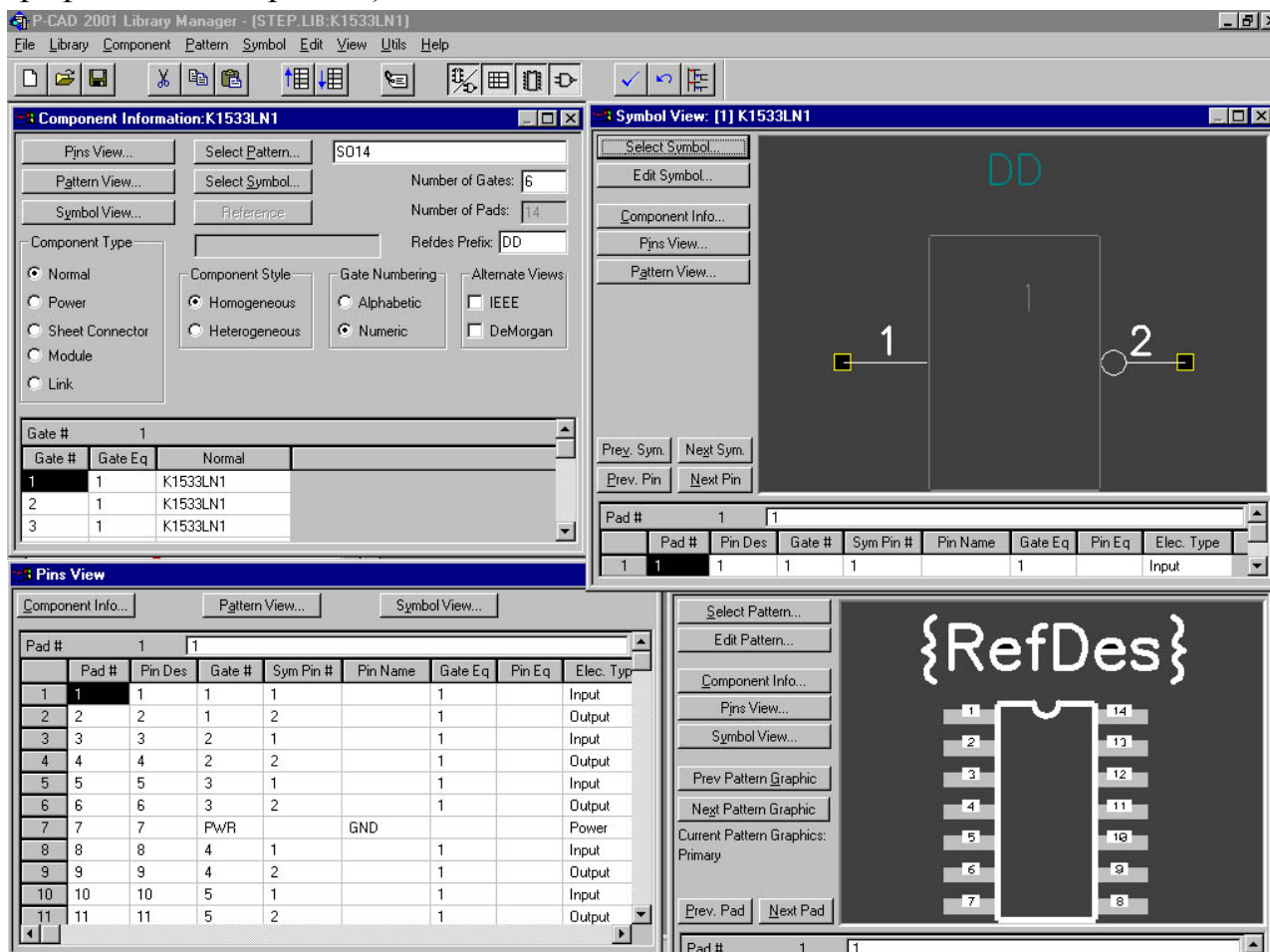


Рисунок 19 – Подробная информация о компоненте на экране **Library Manager**

*Normal* – обычный компонент; *Power* – источник питания (компоненты такого типа, в частности, не включаются в списки соединений для «упаковки» схемы на ПП, но включаются в списки соединений для выполнения моделирования); *Sheet Connector* – соединитель листов схемы; *Module* – символ (модуль) иерархической структуры; *Link* – связь символа модуля иерархической структуры с его схемой;

– в разделе **Component Style** выбирают:

*Homogeneous* – однородный компонент (все секции однотипны);

*Heterogeneous* – неоднородный компонент (секции разных типов);

– в разделе **Gate Numbering** задают способ нумерации секций:

*Alphabetic* – буквенный; *Numeric* – числовой (рекомендуется);

– в разделе **Alternate Views** указывают альтернативные изображения символов.

В нижней части окна располагается таблица, где для каждого типа секций указаны:

Gate # – номер секции;

Gate Eq – код логической эквивалентности секции (секции, имеющие одинаковый отличный от нуля код эквивалентности, могут переставляться при оптимизации цепей на печатной плате);

Normal – имя символа в нормальном изображении.

Альтернативные обозначения символов можно использовать для введения их изображений по ЕСКД.

Вверху располагаются кнопки **Pins View**, **Pattern View** и **Symbol View** для открытия окон редактирования параметров выводов компонентов.

**2. Окно Symbol View.** В нем приведено изображение символа текущего компонента и таблица с информацией о его выводах. Каждому выводу компонента отведена одна строка. В столбцах указана следующая информация:

Pad # – номер вывода компонента;

Pin Des – физический номер вывода компонента в корпусе;

Gate # – номер секции компонента;

Sym Pin # – порядковый номер вывода символа компонента в пределах секции;

Pin Name – имя вывода символа секции компонента;

Gate Eq – код логической эквивалентности секции компонента;

Pin Eq – код логической эквивалентности вывода секции;

Elec. Type – электрический тип вывода, необходимый для проверки принципиальной схемы:

*Unknown* - неизвестный; *Passive* - вывод пассивного компонента; *Input* - вход; *Output* - выход; *Bidirectional* - двунаправленный вывод; *Open-H* - вывод секции с открытым эмиттером; *Open-L* - вывод секции с открытым коллектором; *Passive-H* - вывод пассивного компонента, подключенный к источнику высокого потенциала; *Passive-L* - вывод пассивного компонента, подключенный к источнику низкого потенциала; *3-State* – 3-стабильный вывод; *Power* - вывод цепи питания.

Нажатие на кнопку **Select Symbol** позволяет изменить символ, назначенный текущему компоненту.

**3. Окно Pattern View.** В нем приводится изображение корпуса текущего компонента и таблица с информацией о его выводах. Нажатие на кнопку **Select Pattern** позволяет изменить корпус, назначенный текущему компоненту.

**4. Окно Pins View.** В нем приведена таблица с информацией о всех выводах компонента. После выбора курсором какой-либо ячейки выше таблицы появляется строка с информацией о занесенных в нее данных и панель для их редактирования.

Каждый компонент библиотеки состоит из одной или нескольких логических *секций* (gates), которые упаковываются в корпус. Несколько разных компонентов могут упаковываться в один и тот же типовой корпус

Редактор P-CAD PCB не может использовать информацию только о компоненте (так как это только текстовая информация) или только о корпусе (так как это только графическая информация), для него необходимы совместные данные компонент/корпус. Аналогично для редактора P-CAD Schematic необходимы совместные данные компонент/символ. Когда компонент размещается на ПП или на схеме, используется графика корпусов или символов, на которые сделаны ссылки в описании компонента. Разные

компоненты могут ссылаться на одну и ту же графику корпусов или символов. Корпуса и символы, на которые имеются ссылки в компонентах, должны находиться в одной и той же библиотеке.

Ссылки в разных компонентах на одни и те же корпуса и символы значительно экономят память, занимаемую библиотекой. Кроме того, редактирование типовых корпусов и символов сразу вносит изменения в графику всех родственных компонентов.

При работе с библиотекой компонентов важно различать следующие основные понятия (рисунок 20):

**Pad Number** — порядковый номер вывода компонента (обычно совпадает с физическим номером вывода, но это необязательно);

**Pin Designator** — физический номер вывода в корпусе;

**(Symbol) Pin Number** — номер вывода в пределах секции компонента;

**Pin Name** — имя вывода (в секции компонента).

Работа с библиотеками значительно облегчается с помощью окна просмотра **Source Browser** (рисунок 21). В нем отображается дерево библиотек, открытых по команде **Library>Setup**. Каждая библиотека состоит из разделов Components, Patterns и Symbols. Двойной щелчок курсора мыши по символу или компоненту открывает окно просмотра их изображения. Щелчок правой кнопки мыши по компоненту открывает всплывающее меню, содержащее две строки: **Open** и **Place**. Выбор варианта **Open** открывает окно Component Information с предоставлением возможностей редактирования параметров компонента. Выбор варианта **Place** позволяет по дополнительному выбору (PCB, Schematic) разместить символ компонента на схеме или его корпус на ПП (для этого предварительно должна быть открыта программа P-CAD PCB или Schematic).

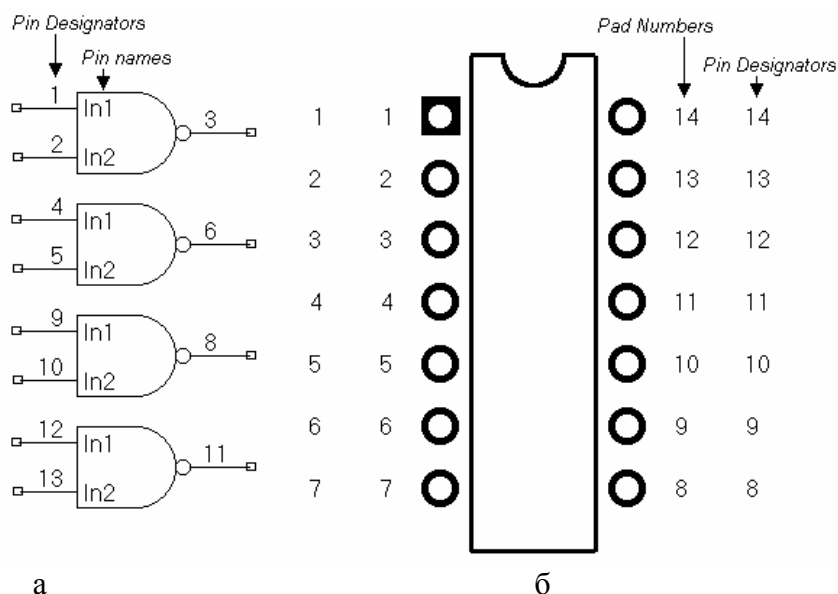


Рисунок 20 – Изображение компонента на схеме (а) и на ПП (б) ИС К155ЛА3

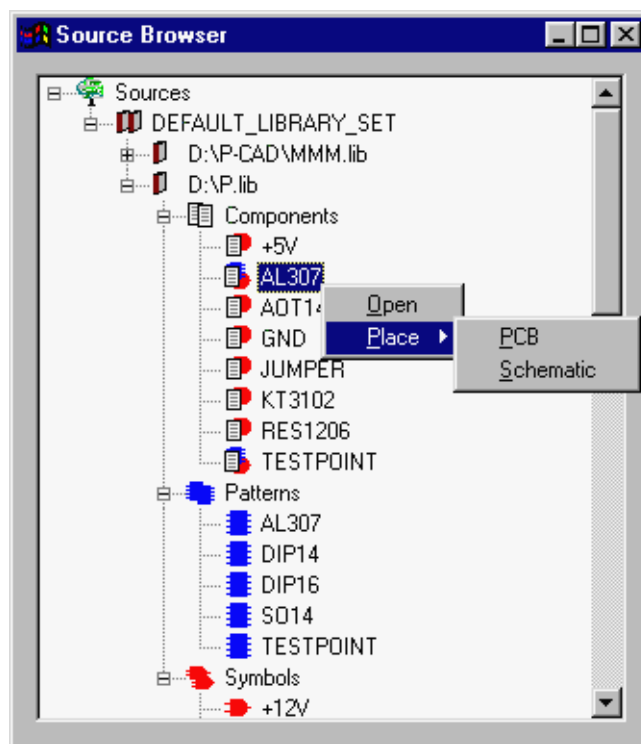


Рисунок 21 – Окно просмотра **Source Browser**

Изображение иконки компонента в окне просмотра свидетельствует о наличии у него присоединенного корпуса и/или символа.

Для создания библиотечного компонента (например K1533ЛА3) необходимо выполнить следующие этапы.

#### 1) Подключение символа

Для подключения символа необходимо выбрать в таблице любую строку в графе **Normal**, нажать на кнопку **Select Symbol** и в открывшемся окне **Library Browse** из списка символов, помещенных в открытую библиотеку, выбрать нужный.


#### 2) Подключение корпуса

Для подключения корпуса нажимают кнопку **Select Pattern** для подключения графики корпуса компонента. В открывшемся окне **Library Browse** из списка корпусов, помещенных в открытую библиотеку, выбирают нужный.

#### 3) Заполнение таблицы выводов

Заполнение таблицы выводов, которая выводится на экран нажатием кнопки **Pins View** (рисунок 22).

При заполнении таблицы для выводов питания необходимо выбирать тип **Power**. При этом в столбец **Gate#** автоматически будет поставлено **PWR**. При редактировании таблицы это значение надо будет устанавливать вручную. *Имена выводов питания должны совпадать с именами цепей питания и земли.*

4) **Сохранение компонента в библиотеке.** Перед сохранением в библиотеке компонента необходимо выполнить команду проверки **Component>Validate** . При обнаружении ошибок выводятся соответствующие информационные сообщения, например:

**Missing Pin Des in row 1. Only ‘unused’ pads are allowed to have a blank Pin Des** (*Пропущен номер вывода в строке 1. Только неиспользуемые выводы могут не иметь информации в графе Pin Des*).

Если же ошибок не обнаружено, программа сообщает: **No errors found!**

	Pad #	Pin Des	Gate #	Sym Pin #	Pin Name	Gate Eq	Pin Eq	Elec. Type
1	1		1	1	A	1	1	Input
2	2	2	1	2	B	1	1	Input
3	3	3	1	3	C	1	2	Output
4	4	4	2	1	A	1	1	Input
5	5	5	2	2	B	1	1	Input
6	6	6	2	3	C	1	2	Output
7	7	7	PWR		+5v			Power
8	8	8	3	3	C	1	2	Output
9	9	9	3	1	A	1	1	Input
10	10	10	3	2	B	1	1	Input
11	11	11	4	3	C	1	2	Output
12	12	12	4	1	A	1	1	Input
13	13	13	4	2	B	1	1	Input
14	14	14	PWR		GND			Power

Рисунок 22 – Таблица выводов компонента

После исправления всех ошибок выполняется команда сохранения компонента в текущей библиотеке **Component>Save** или **Component>Save As**. Однако перед выполнением этих команд обязательно проверяется наличие ошибок, и пока ошибки не исправлены, компонент сохранить нельзя. Имя нового компонента указывают по дополнительному запросу.

**6.5. Создание модели схемы электрической принципиальной в редакторе P-CAD Schematic.** Редактор P-CAD Schematic предназначен для построения схем электрических из библиотечных компонентов с последующей передачей информации об электрических связях между компонентами в P-CAD PCB для проектирования печатной платы. P-CAD Schematic можно использовать также для оформления конструкторской документации (схем электрических принципиальных, перечней документов и т.п.).

После запуска редактора схем P-CAD Schematic рекомендуется настроить его конфигурацию: определить размер листа схемы и настроить другие параметры в меню команд **Options > Configure**.

В графе **Units** выбирают систему единиц - миллиметры. Изменить систему единиц можно на любой фазе работы со схемой без потери точности. О текущей системе единиц можно судить по размерности ширины линий, указываемой на строке состояний.

Режим ввода цепей и линий устанавливают в графе **Orthogonal Modes**:

90/90 Line-Line — ввод ортогональных линий, 45/90 Line-Line — ввод диагональных линий. При включении режима 90/90 Line-Line линии проводятся по осям координат или под произвольным углом, при включении режима 45/90 Line-Line — по диагоналям или под произвольным углом. Рекомендуется включить оба режима, тогда линии проводятся по осям координат, по диагоналям или под произвольным углом, что определяется дополнительным нажатием клавиши **O**.

Переключатель **DDE Hotlinks** устанавливает режим взаимного выделения цепей между графическими редакторами P-CAD Schematic и P-CAD PCB (так называемую горячую связь).

Шаг сетки устанавливают в меню **Option>Grids**. Текущее значение шага сетки выбирают курсором в списке Grids или, что более удобно, непосредственно на строке состояний.

В меню **Options>Display** задают цвета различных объектов, стиль изображение шин и ряд других параметров.

В окне **Bus Connection Mode** указывают один из трех стилей изображения подсоединения цепей к шине.

В окне **Junction Size** выбирают размер точки электрического соединения цепей (точки «пайки»).

На закладке *Miscellaneous* на поле **ERC Errors** выбирают параметры:

Show - разрешение вывода на схему маркеров ошибок ERC; Hide - запрет вывода на схему маркеров ошибок ERC; No Change - запрет изменения на схеме маркеров ошибок ERC.

На панели **Cursor Style** выбирают тип курсора:

Arrow - стрелка; Small Cross - маленькое перекрестье; Large Cross - большое перекрестье.

На панели **Sheet Connector Cross Referencing** устанавливаются параметры соединителей страниц.

На панели **Miscellaneous** задают разнообразные параметры:

Draft Mode - изображение контуров линий и полигонов;

Display Default PinDes - отображение на экране номеров выводов символов компонентов, заданных по умолчанию;

Display Open Ends - отображение неподсоединенных выводов или цепей;

Display Overridden Errors - отображение на экране перекрывающихся маркеров ошибок;

Display Part Gate Number - отображение на экране номеров секций компонентов;

Scroll Bars - размещение на экране линий прокрутки;

Show Data Tips - вывод подсказок на рабочем поле (они не выводятся при использовании курсора большого размера и при выполнении команды **View>Snap to Grid**);

Thin Stroke Text - установка тонких линий векторных шрифтов;

Drag by Outline - изображение символов компонентов линиями контура при их перемещении или копировании (для ускорения перечерчивания экрана).

Нажатие клавиши **Defaults** назначает всем параметрам значения по умолчанию.

В P-CAD Schematic нет понятия слоев изображения, которые можно сделать видимыми или невидимыми. Вся информация располагается на одном слое, и с помощью меню **Options > Display** можно любую информацию, например атрибуты компонентов (Part Attr), сделать невидимой – для этого ее нужно окрасить в цвет фона (Background).

По командам **Options > Current Wire** и **Options > Current Line** определяют ширину цепей Wire (осуществляют электрические соединения) и Line (графические линии не обеспечивают электрического соединения).


В меню **Options > Text Style** выбирают стиль текста, устанавливаемый по умолчанию, и при необходимости редактируют стили выполнения отдельных надписей. Все стили надписей сохраняются в файле схемы.

Параметры настройки конфигурации программы P-CAD Schematic заносятся в файл SCH.INI и сохраняются при последующей работе с ней. Кроме того, параметры проекта (стили линий, стили шрифта и др.) заносятся в файл схемы. Поэтому целесообразно создать «шаблоны» пустых схем, например, в файлах template1.sch, template2.sch..., занося в них только параметры конфигурации (включая список шагов сетки, список стилей линии и т. п.), и загружать их перед началом создания новых схем.

В P-CAD имеется команда **File>Design Technology Parameters** для просмотра и загрузки набора технологических требований к ПП. Технологические правила, относящиеся к определению классов цепей и правил их трассировки и трассировки отдельных цепей, вводятся по команде **Option>Design Rules** как в редакторе P-CAD Schematic, так и в редакторе P-CAD PCB. Данные об апертурах, о наборе слоев ПП и стилях контактных площадок (КП) и переходных отверстий (ПО) можно модифицировать и ввести заново только в P-CAD PCB.

После настройки конфигурации P-CAD Schematic приступают к *созданию принципиальной схемы* по следующему алгоритму.

**1. Загрузка библиотек.** Перед нанесением на схему символов компонентов по команде **Library>Setup** обеспечивается доступ к необходимым библиотекам (рисунок 23, а). Нажав клавишу **Add**, добавляют имена библиотек в список открытых библиотек (Open Libraries).

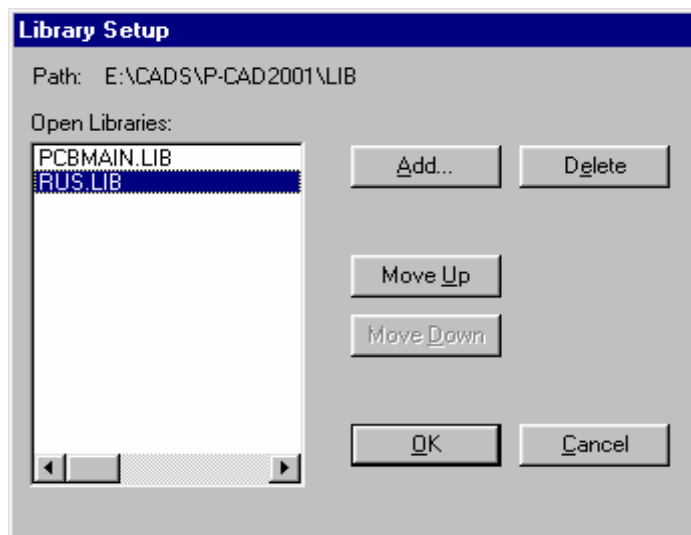
**2. Размещение компонентов на схеме.** В режим размещения символов компонентов на схеме переходят по команде **Place>Part** . После этого щелчок курсором в любой точке схемы открывает меню выбора компонента (рис. 8.25, б).

На панели **Library** указывается имя одной из открытых библиотек, список ее компонентов выводится в окне **Component Name**.

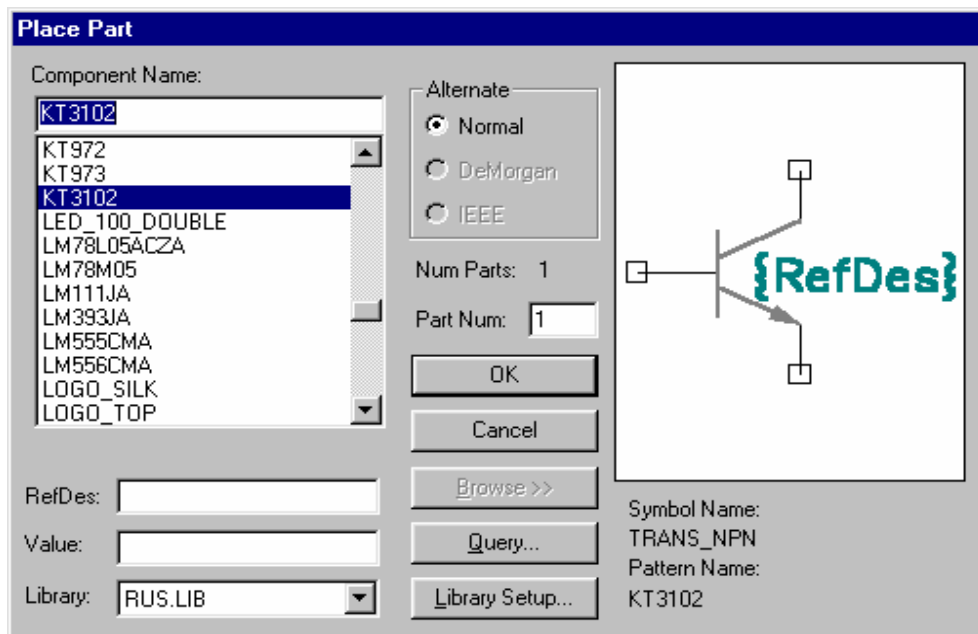
Имя нужного компонента выбирают из этого списка или вводят в верхней строке. Нажатие клавиши **Browse** позволяет просмотреть графическое изображение символа компонента (справа на рисунок 23, б).

В графе Num Parts указывается общее число секций компонента (изменять их на этом этапе нельзя). В окне Part Num по умолчанию указывается номер секции 1, но при необходимости его можно изменить перед размещением символа компонента на схеме.

Позиционные обозначения компонентов на схеме проставляются автоматически. Для изменения назначенного в библиотеке префикса позиционного обозначения его надо указать в поле RefDes в явном виде (см. рисунок 23, б). Для компонентов, состоящих из одной секции, имя секции не проставляется.



а



б

Рисунок 23 – Загрузка библиотек (а) и выбор символа компонента (б)

При изображении многосекционных компонентов совмещенным способом (изображения смежных секций примыкают друг к другу) позиционные обозначения отдельных секций обычно не указываются, для этого необходимо




параметры RefDes всех секций, кроме первой, сделать невидимыми (выключить кнопку Visibility), тогда будет видно позиционное обозначение только первой секции.

На строке Value проставляют номинал компонента, например сопротивление резистора.

После выбора в меню **Place>Part** нужного компонента и введения всех необходимых параметров нажимают **OK** – курсор примет форму перекрестья с разрывом в центре для точного позиционирования в узлах сетки. Непосредственное размещение символа компонента на схеме выполняется после щелчка курсором в любой точке рабочего окна. До тех пор, пока не отпущена левая кнопка мыши, символ перемещается по экрану. Он поворачивается на 90° в направлении против часовой стрелки и зеркально отображается нажатием клавиш **R** и **F** соответственно. Повторный щелчок курсором размещает на схеме очередную копию символа выбранного компонента, присваивая ему следующее позиционное обозначение, которое одновременно выводится в строке информации. Для увеличения на единицу номера секции компонента перед размещением символа нажимают клавишу **P**, а для увеличения позиционного обозначения – клавишу **D**. Уменьшить эти значения можно одновременным нажатием клавиш **Shift+P** или **Shift+D**. Нажатие правой кнопки мыши или **Esc** прекращает ввод символов.

В режиме **Edit>Select** щелчок курсора в любой точке внутри контура символа компонента производит его выбор с возможностью перемещения, поворота и удаления символа вместе с принадлежащими ему атрибутами. Нажатие клавиши **Shift** и удержание ее до щелчка курсора позволяет выбрать отдельный элемент символа: вывод, элемент графики, позиционное обозначение и др.

**3. Размещение электрических цепей.** После выбора команды **Place>Wire**  курсор принимает форму перекрестья. Щелчком мыши отмечается начальная точка цепи. Каждое нажатие левой кнопки мыши фиксирует точку излома. Нажатие клавиши **O** до отпускания левой кнопки мыши изменяет угол ввода линии из числа разрешенных (задаваемых в меню **Options>Configure**), нажатие клавиши **F** изменяет ее ориентацию. В связи с тем, что на схеме обычно преобладают горизонтальные или вертикальные цепи, в меню **Options>Configure** достаточно включить только режим ввода ортогональных цепей 90/90 Line-Line. Завершается ввод цепи нажатием правой кнопки мыши (или **Esc**).

Ширина прокладываемой цепи (рекомендуется 0,25 мм) устанавливается по команде **Options>Current Wire**.

Неподсоединенные выводы компонентов и открытые концы цепей, не подсоединенных к другим цепям или к выводам компонентов, помечаются квадратиками, которые гаснут после выполнения электрического соединения.

Если при перемещении цепи, имеющей присвоенное ей ранее имя (не системное имя типа NETxxxxx), она соприкоснулась с другой такой же цепью,

открывается диалоговое окно для выбора имени объединенной цепи или отказа от выполнения операции. При одновременном соединении нескольких цепей (это возможно при их перемещении в окне) выводится сообщение об отказе от их объединения, что позволяет продолжить перемещение этих цепей или вернуться к исходному состоянию по команде **Undo**.

Включение в цепь дополнительной точки излома для последующего редактирования выполняется по команде **Rewire>Manual** .

В строке информации выводится присваиваемое автоматически имя размещаемой цепи, например Net: NET00003. Следующая цепь получит имя NET00004.


Присвоить цепи другое имя можно двумя способами:

а) Индивидуально выбрать каждую цепь и щелчком правой кнопки мыши открыть в меню редактирования пункт **Properties** и изменить имя цепи, заменив на строке **Net Name** назначенное системой имя другим, например заменить NET00001 на A1. Это имя будет *видимым*, если включить на закладке **Wire** переключатель **Display**.


б) С помощью команды **Utils>Rename Nets** в открывшемся меню на строке **Net Name** ввести префикс имени и выбрать параметр **Increment Name** (режим приращения имени). После закрытия этого меню щелчком курсора по первой цепи ей присваивается имя Pref 0, по второй - Pref 1 и т. д. Чтобы начать нумерацию цепей не с нуля, нужно начальное имя ввести в явном виде, например A 5. Тогда первая цепь получит A 5, вторая – A 6 и т. д.

Если к цепи подсоединить компонент заземления GND, то она автоматически получит имя GND, так как выводу компонента заземления присвоен тип Power, что обеспечивает автоматическую замену имени цепи, к которому он подключен, на имя этого компонента.

Электрическое соединение пересекающихся цепей обозначается точкой «пайки» (**Junction**), которая автоматически проставляется на Т-образных соединениях. Чтобы проставить точку соединения пересекающихся цепей, нужно при вводе второй цепи щелкнуть курсором в точке пересечения и затем продолжить ее построение.

**4. Размещение шин.** Выбор команды **Place>Bus**  активизирует режим ввода шин. Щелчком курсора отмечают начало шины и точки ее излома. Построение шины завершается нажатием правой кнопки мыши или **Esc**.

После этого по команде **Place>Wire** размещают цепи. При рисовании цепи, входящей в состав шины, ее начало или конец должны располагаться в любой точке шины. При этом при подключении к шине автоматически изображается излом цепи под углом 45° (стиль этого изображения устанавливают в меню команды **Options>Display**). Шина изображается на схеме линией шириной 0,76 мм и изменить ее ширину нельзя. При необходимости можно поверх нее нарисовать линию нужной ширины по команде **Place>Line**.

Имена цепей, образующих шину, задаются подключением к цепям по команде **Place>Port**  специальных портов. После выбора команды **Place>Port**

щелчком мыши на любой точке схемы открывается изображенное на рисунок 24, а меню выбора порта. На расположенной сверху строке Net Name указывают имя первой цепи, например D1. Если включить переключатель *Increment Port Name*, то при размещении портов они автоматически получают имена D1, D2, D3 и т. п.

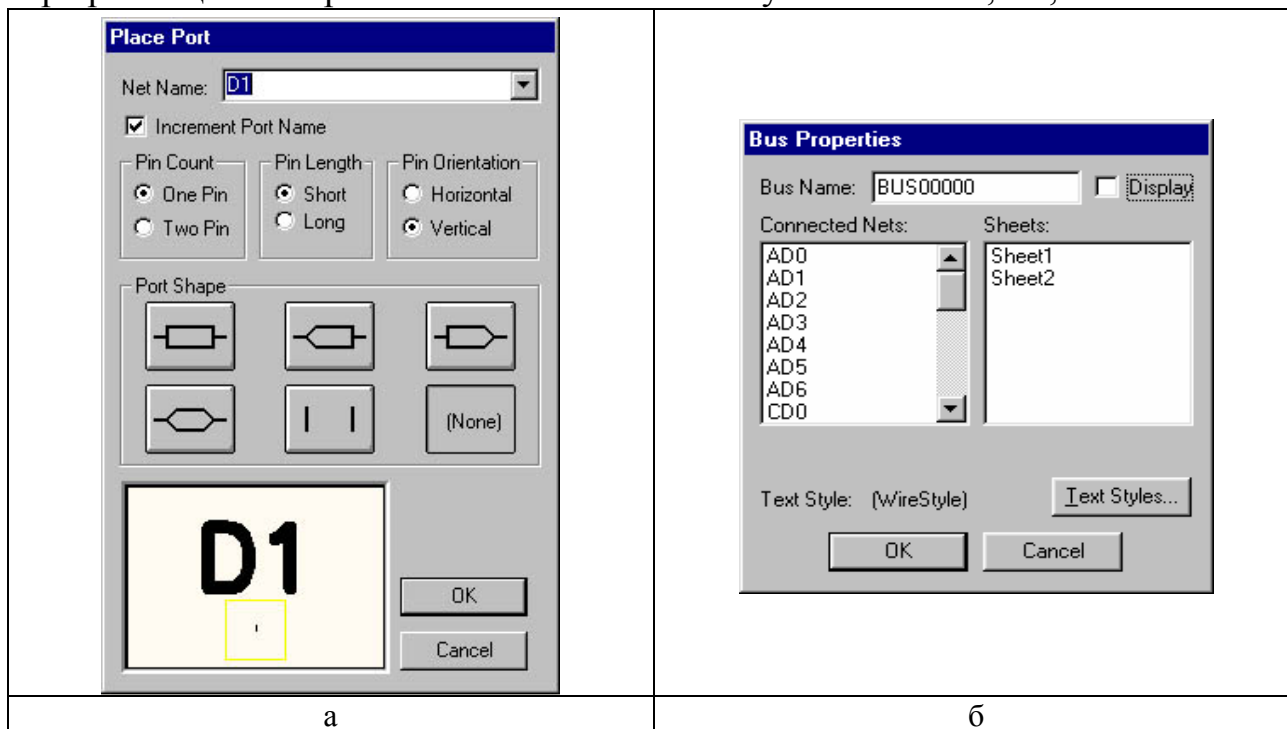


Рисунок 24 – Диалоговые окна команд Place>Port (а) и Bus Properties (б)

Для обозначения цепей в шине в соответствии с ЕСКД необходимо выбрать тип порта без рамки (*None*) с одним выводом (*One pin*) и располагать его вертикально (*Vertical*). В результате имя цепи (порта) будет расположено над ней. После закрытия меню нажатием **ОК** порты подключаются последовательными щелчками мыши по именуемым цепям (текущее имя цепи отображается в строке информации). Именованные таким образом цепи являются глобальными (*Global*), их можно переименовывать по командам **Edit>Nets** и **Utils>Rename Nets**. Видимость имени шины устанавливается с помощью переключателя *Display* меню **Bus Properties** (рисунок 24, б).

**5. Добавление атрибутов цепей и компонентов.** Для добавления атрибута цепи (или компонента) выбирается цепь (или компонент) и после открытия щелчком правой кнопки мыши меню редактирования указывают в нем пункт **Properties**. Затем по команде **Add** добавляют атрибуты, как показано на рисунке 25, где введен атрибут ширины проводника *Width*, который будет принят во внимание автотрассировщиком. С помощью выключателя **Visible** каждый атрибут может быть сделан видимым или невидимым на схеме. Для управления видимостью на экране всех однотипных атрибутов по команде **Option>Display** атрибуту можно назначить индивидуальный цвет или цвет фона (чтобы он был не виден). Аналогично при выводе схемы на печать по команде **File>Print>Print Options** указывают цвета атрибутов и других объектов. Таким образом назначают цепям или компонентам индивидуальные

атрибуты. Атрибуты общего характера вводят по команде **Place>Attribute**.

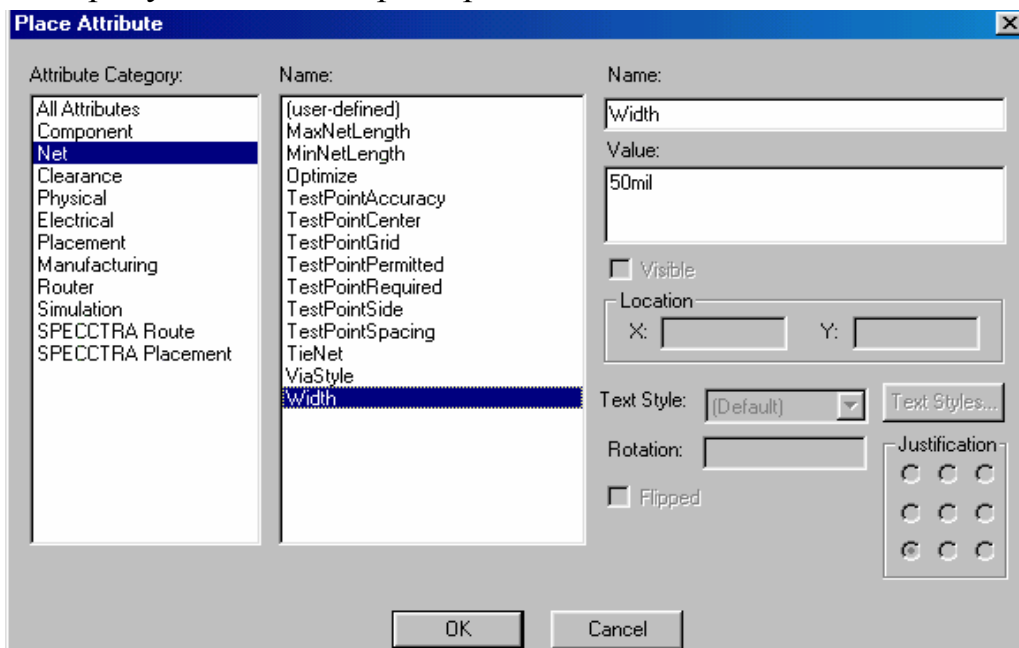


Рисунок 25 – Редактирование атрибутов цепей

**6. Редактирование схемы.** Для перемещения компонента или цепи необходимо выбрать их щелчком курсора и затем перемещать движением мыши. Если после перемещения сегментов цепей часть из них будет расположена неаккуратно, щелчком курсора выбирают отдельный сегмент и перемещают его вершину. Выбор для редактирования элемента сложного объекта (например, позиционного обозначения компонента) производится щелчком левой клавиши мыши при одновременном нажатии кнопки **Shift**.

**7. Изменение позиционных обозначений.** Перед завершением создания схемы целесообразно переименовать позиционные обозначения компонентов согласно ЕСКД вручную или с помощью специальной утилиты DBX. При перенумерации позиционных обозначений по команде **Utils>Renumber** невозможно соблюдать требования ЕСКД.

**8. Сохранение проекта.** По команде **File>Save** отредактированный проект сохраняется в исходном файле, по команде **File>Save As** проект сохраняется в другом файле, причем предварительно можно выбрать его формат:

*Binary Files* - бинарный формат (расширение имени \*.SCH);

*ASCII Files* - текстовый формат (расширение имени \*.SCH).

Файлы обоих форматов имеют одно и то же расширение имени \*.SCH. Бинарный формат более компактен и является основным, текстовый формат используют для обмена данными с другими программами.

В файле схемы хранятся следующие параметры: система единиц; набор шагов сетки; стили текста; шаблоны отчетов.

**6.6. Проверка схем с помощью утилиты ERC.** После создания принципиальной электрической схемы целесообразно выявить синтаксические ошибки, исправить их и только после этого перейти к разработке ПП. Проверку схемы выполняют по команде **Utils>ERC** (Electrical Rules Check). В основном

меню этой команды задают перечень проверок, результаты которых приводятся в текстовом отчете.

*Степень серьезности отдельных ошибок (Error, Warning или Ignored)* назначается в диалоговом окне, открываемом после нажатия на панель **Severity Level**. Там же необходимо включить опции *View Report* (Просмотр отчета сообщений об ошибках) и *Annotate Errors* (Индикация ошибок на схеме).

Сообщения об ошибках заносятся в файл <имя схемы>.ERC, изменение этого имени производят после выбора панели **Filename**.

Поиск ошибок в соответствии с заданной конфигурацией начинается после нажатия панели **ОК**. Информация об ошибках помечается на схеме индикаторами и выводится в текстовый отчет.

**6.7. Вывод данных.** Результаты проектирования выводятся в P-CAD Schematic в виде:

- схемы, напечатанной на принтере или плоттере;
- списка соединений схемы (в частности, для упаковки схемы на ПП или выполнения моделирования);
- текстовых отчетов.

**Вывод схемы на печать.** Для подготовки к печати электрической схемы на принтере или плоттере выполняют команду **File>Print Setup** и в развернувшемся меню выбирают тип устройства вывода, предварительно установленного средствами **Windows**. Нажатием панели **Setup** открывают меню выбора размера и ориентации бумаги, характера передачи полутонов, разрешающей способности, качества печати (высокое, черновое). На строке **Minimum Line Width for printing (pixels)** устанавливают минимальную ширину прямых линий в пикселях (на дуги это не распространяется). При подготовке к печати указывается также масштабный фактор и поворот чертежа на 90<sup>0</sup>, если необходимо.

Непосредственный вывод на печать выбранных листов начинается после нажатия клавиши **Generate Printouts**, предварительный просмотр - после нажатия клавиши **Print Preview**.

**Создание списка соединений.** Список соединений включает в себя *список компонентов и цепей с указанием номеров выводов компонентов, к которым они подключены*. Он используется для так называемой процедуры «**упаковки схемы на печатную плату**» - размещения на поле ПП корпусов компонентов с указанием их электрических связей согласно принципиальной схеме. Для создания списка соединений необходимо по команде **Utils>Generate Netlist** открыть меню настройки параметров и в пункте меню **Netlist Format** выбрать формат списка соединений. Для разработки ПП с помощью графического редактора P-CAD PCB рекомендуется выбирать формат **Tango** или **PCAD ASCII** (последний передает атрибуты схем на ПП). Имя файла списка соединений задают после нажатия клавиши **Netlist Filename**.

Нажатием кнопки **Include Library Information** включают в файл списка соединений (*только для формата PCAD ASCII*) информацию, необходимую для составления с помощью **Library Manager** библиотеки символов

компонентов, находящихся в данной схеме (по команде **Library>Translate**).

**Составление отчетов.** По команде **File>Reports** создают текстовые отчеты о схеме. Дополнительно выбирается содержание и форма отчета, а также устройство вывода: консоль, принтер или файл. С помощью отчета удобно анализировать спроектированную схему и контролировать ошибки, внесенные оператором при создании библиотечных компонентов и вводе информации.

**6.8. Проектирование печатной платы в P-CAD PCB.** Редактор PCB используется для размещения компонентов на печатной плате и ручной трассировки соединений.

Построен редактор печатных плат так же, как и редактор схем - отличие лишь в объектах, с которыми он работает. Поэтому на инструментальных панелях редактора имеются новые кнопки, а в меню - новые команды, необходимые для создания печатных плат. P-CAD PCB в отличие от P-CAD Schematic поддерживает многослойную организацию проекта.

Перед началом работы в P-CAD PCB необходимо настроить его конфигурацию по команде **Options>Configure**. Настройки P-CAD PCB в основном совпадают с настройками редактора P-CAD Schematic. Дополнительно в графе **Workspace Size** указывают размеры рабочей области, немного превышающие габаритные размеры ПП (по умолчанию устанавливается 254x254 мм).

На закладке *Route* отмечают опцию **T-Route by Default** для разрешения образования Т-образных соединений проводников, в графе **Orthogonal Modes** включают все режимы (остальные параметры принимают значения по умолчанию, их настраивают позже по мере надобности).

На закладке *Manufacturing* задают значения глобальных технологических параметров: отступы масок пайки, зазоры между областью металлизации, направление пайки волной припоя и т.п.

При создании новой ПП по умолчанию устанавливаются 11 стандартных слоев (рисунок 26):

**Top** - верхняя сторона ПП;

**Bottom** - нижняя сторона ПП;

**Board** - контур ПП;

**Top Mask** - маска пайки на верхней стороне ПП;

**Bot Mask** - маска пайки на нижней стороне ПП;

**Top Silk** - шелкография на верхней стороне ПП (маркировка и контуры компонентов и т.п.);

**Bot Silk** - шелкография на нижней стороне ПП;

**Top Paste** - маска для паяльной пасты на верхней стороне ПП;

**Bot Paste** - маска для паяльной пасты на нижней стороне ПП;

**Top Assy** - вспомогательные данные на верхней стороне ПП;

**Bot Assy** - вспомогательные данные на нижней стороне ПП.

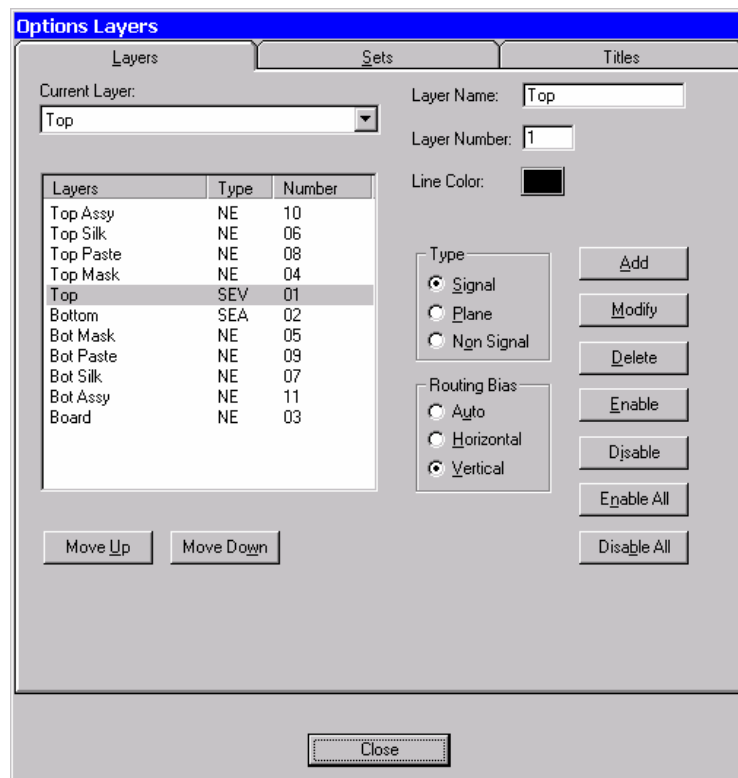


Рисунок 26 – Определение структуры и атрибутов слоев печатной платы

Слои Top и Bottom, Top Silk и Bot Silk и т.п. являются **парными**. Понятие парности слоев используется при переносе компонента на другую сторону ПП нажатием на клавишу **F** (**Flip** - зеркальное отображение), при этом вся графическая и текстовая информация переносится на ответвующие парные слои (при зеркальном отображении простых графических объектов - линий, полигонов и т. п. - *они остаются на первоначальном слое*).

Всего в P-CAD PCB может быть до **99** слоев. Слои создают и удаляют по команде **Options Layers**. Выделяют три типа слоев: **Signal** - слои разводки проводников сигналов, помечают символом **S**; **Plane** - слой металлизации для подключения цепей «земли» и «питания», помечают символом **P**; **Non Signal** - вспомогательные слои, помечают символом **N**.

Каждый слой может быть включен (**Enable**, символ **E**) или выключен (**Disable**, символ **D**).

В графе **Routing Bias** указывают приоритетную ориентацию проводников на каждом слое при автоматической трассировке: **Auto** - выбирается автоматически, символ **A**; **Horizontal** - горизонтальная, символ **H**; **Vertical** - вертикальная, символ **V**.

Удалять можно только слои, введенные пользователем, не являющиеся текущими и на которых не содержится информация; стандартные слои удалять нельзя.

Список значений ширины трасс проводников и геометрических линий составляется по команде **Options>Current Line**.



По команде **Options>Pad Style** открывают список стеков КП, по команде **Options>Vie Style** – список стеков ПО. Выбранные курсором в этих списках стеки являются текущими и помещаются на ПП при выполнении команд **Place>Pad, Place>Vie**.

Перед размещением на ПП компонентов вручную или с помощью процедуры упаковки принципиальной схемы необходимо обеспечить доступ к библиотекам, в которых находятся эти компоненты. Библиотеки подключают по команде **Library>Setup**.

Разработку новой ПП начинают с выполнения команды **File>New** и настройки конфигурации или загрузки шаблона. Затем на слое **Board** по команде **Place>Line** наносится *контур ПП* в виде замкнутой линейно-ломаной линии (дуги не разрешаются).

**1. Упаковка схемы на печатную плату.** При отсутствии принципиальной схемы проекта компоненты расставляют на ПП по команде **Place>Component** и по команде **Place>Connection** вводят электрические связи между их выводами. При наличии принципиальной схемы для переноса (упаковки) ее на ПП по команде **Utils>Load Netlist** загружают файл списка соединений (который создается в редакторе P-CAD Schematic в форматах *Tango* или *P-CAD ASCII*).

Обычно схема упаковывается на ПП, на которой *предварительно размещены*: вилки, розетки; крепежные отверстия; другие компоненты, имеющие фиксированное положение (в диалоговом окне **Properties** этих компонентов необходимо отметить опцию **Fixed**), и *проложен* ряд трасс. В этом случае после загрузки команды **Utils>Load Netlist** выводится сообщение, информирующее о необходимости соблюдения следующих ограничений:

- компоненты с совпадающими на ПП и на схеме позиционными обозначениями (*RefDes*) должны иметь одинаковые типы корпуса (*Type*). При обнаружении конфликтов упаковка не производится;

- все присутствующие на ПП компоненты, не входящие в список соединений, будут сохранены;

- на ПП переносятся все компоненты из списка соединений, которые не установлены на ней предварительно;

- электрические связи, проложенные предварительно на ПП и отсутствующие в списке соединений, удаляются (обновляется вся информация об электрических связях), однако все проложенные ранее проводники сохраняются, даже если они отсутствуют в списке соединений;

- после выполнения команды нельзя восстановить первоначальный вид ПП с предварительно размещенными компонентами, поэтому ее рекомендуется сохранить в отдельном файле.

**2. Размещение компонентов на плате.** После загрузки списка соединений (упаковки схемы) на ПП приступают к размещению компонентов внутри контура ПП (если он есть). Размещение компонентов на ПП обычно производят вручную. Линии электрических связей, перемещаемые вместе с компонентами, помогают правильно их разместить.

Нажатием клавиши **R** поворачиваем выбранный объект против часовой



стрелки на 90°, одновременным нажатием **Shift+R** поворачиваем его на угол, заданный в меню **Options>Configure** на закладке *General* (параметр **Rotation Increment**), нажатием клавиши **F** зеркально отображаем объекты относительно оси Y и *переносим компоненты на противоположную сторону ПП*.

При размещении однотипных компонентов удобно их автоматически выравнивать. Для этого выравниваемые компоненты по очереди выбираются щелчком курсора (при выборе второго и последующих компонентов нажимают и удерживают клавишу *Ctrl*). Затем выбирают опцию **Align** (Выравнивание) и в открывшемся меню отмечают способ выравнивания.

После завершения размещения компонентов полезно выполнить минимизацию длин соединений путем перестановки логически эквивалентных секций компонентов и их выводов по команде **Utils>Optimize Nets** (перестановка возможна, если в ней не участвуют уже проложенные проводники).

**3. Задание правил проектирования.** Перед началом трассировки в меню **Options>Grids** задают необходимый шаг сетки.

Затем по команде **Options>Design Rules** на закладке *Layers* устанавливают *допустимые зазоры* для каждого слоя трассировки (рисунок 27).

Перед началом ручной трассировки целесообразно включить режим текущей проверки допустимых зазоров, пометив на закладке *Online DRC* команды **Options>Configure** строку **Enable Online DRC**.

Для управления размещением компонентов и трассировки соединений в автоматическом или интерактивном режиме и проверки DRC цепям и компонентам присваивают атрибуты по команде **Edit>Nets**.

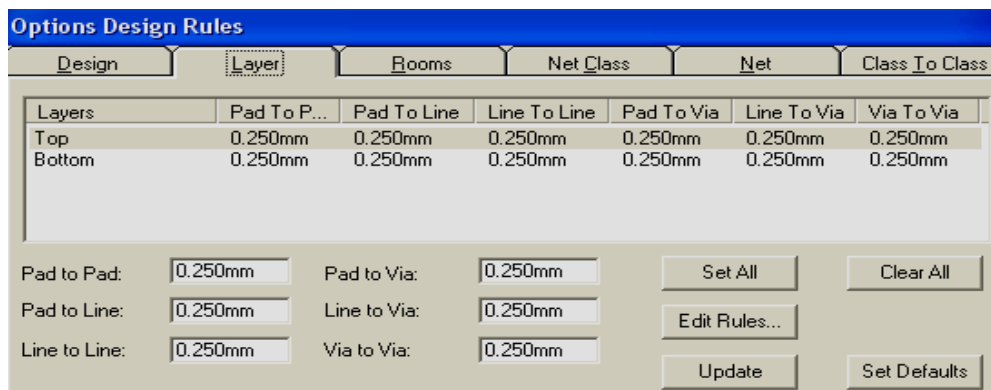


Рисунок 27 – Пример задания правил и ограничений трассировки

**4. Барьеры трассировки.** Графический редактор P-CAD PCB имеет возможность создавать на ПП барьеры трассировки. Расположение на ПП по команде **Place>Keepout** сегмента линии или замкнутой области в виде полигона запрещает Quick Route пересекать их трассами проводников на одном выбранном или на всех доступных слоях (места размещения крепежных отверстий, запрещенные для трассировки по конструкционным соображениям области и т.п.). Предварительно по команде **Options>Current Keepout** устанавливают параметров барьеров трассировки: линия (Line) или полигон

(Polygon), располагаемые на текущем (Current) или на всех доступных слоях (All).

Контур ПП, рисуемый на слое Board по команде **Place>Line**, воспринимается Quick Route как барьер, который нельзя пересекать проводниками на всех слоях. Поэтому трассы будут проведены как внутри этого контура, так и вне его (но не пересекая).

**5. Ручная трассировка соединений.** Перед началом трассировки какого-нибудь проводника задают его ширину и выбирают нужный слой. Трассу проводника можно начать только от тех КП, которые имеют электрические связи. При необходимости электрические связи устанавливают вручную по команде **Place>Connection**.

Ручную трассировку проводников выполняют по команде **Route>Manual**.

Для облегчения создания Т-образного соединения трасс выполняют его при нажатой клавише **Shift** или заранее на закладке *Route* диалогового окна команды **Options>Configure** включают опцию **T-Route by Default**.

При смене в процессе прокладки трассы текущего слоя нажатием клавиш **L**, **Shift+L** или с помощью строки состояний трасса продолжается на другом слое, при этом автоматически вставляется ПО текущего типа (заданного заранее по команде **Options>Via Style**).

Не прерывая прокладку трассы, можно изменить ширину проводника по команде **Options>Current Line** или с помощью строки состояний.

Нарушение зазора между трассой проводника и выводом компонента, ПО или трассой другой цепи отмечается индикаторами ошибок в виде круга с перекрестием, если включен режим **Online DRC**.

Нажатие правой кнопки мыши или выбор любой команды завершает трассировку проводника по кратчайшему расстоянию до контактной площадки вывода компонента. Нажатием косой черты «/» или «\» прекращают прокладку трассы без ее завершения.

Завершение трассы точно на контактной площадке пункта назначения обозначается ромбом с перекрестием.

**6. Интерактивная трассировка соединений.** Трассу прокладывают по команде **Route>Interactive** движением курсора при нажатой левой кнопке, при этом автоматически огибаются препятствия (проводники, КП, ПО и области металлизации), соблюдаются допустимые зазоры. Нажатием правой кнопки мыши в процессе прокладки трассы открывают следующее меню:

**Complete** - завершение прокладки трассы (если это возможно) с соблюдением установленного ранее режима ввода проводников (ортогонально или по диагонали) и допустимых зазоров;

**Push Traces** - включение режима отталкивания мешающих проводников;

**Suspend** - прекращение прокладки трассы с сохранением проложенного участка;

**Cansel** - прекращение прокладки трассы с отменой ввода последнего сегмента (аналог нажатия клавиши **Esc**);

**Options** — изменение параметров конфигурации проекта по команде

## **Options>Configure;**

**Layers** — открытие окна команды **Options>Layers** для изменения структуры слоев платы;

**Via Style** — открытие окна **Options>Via Style** для выбора типа ПО или его редактирования;

**Unwind** — отмена прокладки последнего сегмента проводника (аналог нажатия клавиши **Backspace**).

Клавиши **O**, **F**, «/», «\» и стрелки имеют такие же назначения, как и при ручной прокладке трасс. Единственное отличие – не производится скругление трасс по дуге.

Когда в процессе прокладки трассы левую кнопку мыши отпускают в точке окончания линии электрической связи, прокладка трассы завершается и можно переходить к прокладке следующей.

**7. Сглаживание прямоугольных изгибов проводников.** Прямоугольные изгибы проводников скашиваются под углом 45° или сглаживаются дугами по команде **Route>Miter**. Режим сглаживания устанавливают на панели **Miter Mode** закладки *Route* команды **Options>Configure**. Сглаживание начинают щелчком курсора в точке излома трассы, не отпуская левую клавишу мыши, перемещают курсор и устанавливают необходимые размеры изгиба трассы.

По завершении ручной трассировки проводников полезно выполнить команду **Utils>Trace Clean-up** для удаления наложенных друг на друга сегментов трасс и лишних точек излома.

**8. Области металлизации.** На сигнальных слоях могут располагаться области металлизации, электрически подсоединяемые к одной из цепей и автоматически отделяемые зазорами от других цепей и КП. Эти области создают в два этапа:

1) по команде **Place>Copper Pour** рисуют внешний контур области металлизации в виде полигона (пересечения сторон полигона не допускаются);

2) область выбирают щелчком курсора, в выпадающем меню выбирают строку **Properties** и затем на закладке *Connectivity* открывшегося меню **Copper Pour Properties** указывают имя цепи, к которой она должна быть подключена. Здесь же выбирают необходимость использования КП с тепловыми барьерами (**Thermals**) или непосредственного соединения (**Direct Connection**) и задают ширину теплового барьера. После этого на закладке *Style* указывают особенности выполнения металлизации.

При прокладке проводников через область металлизации зазоры образуются автоматически, если на закладке *General* команды **Options>Configure** включена опция **Auto Plow Copper Pours**.

**9. Сохранение проекта.** По команде **File>Save** либо **File>Save As** отредактированный проект сохраняется в файле, причем предварительно можно выбрать его формат.

**10. Проверка печатной платы с помощью утилиты DRC.** Перед завершением разработки ПП и выпуском фотошаблонов необходимо по команде **Utils>DRC** (*Design Rule Checking*) проверить ПП на соответствие

принципиальной схеме и проверить соблюдение технологических ограничений. В меню этой команды выбирают различные правила проверок.

После выполнения проверок перечень ошибок заносится в файл с расширением имени \*.DRC. Включение опции **Annotate Errors** помечает на ПП места ошибок специальными индикаторами. После исправления ошибки ее индикатор автоматически удаляется.

Результаты разработки ПП выводят на принтеры и плоттеры различных типов, используя средства Windows. В меню команды **File>Print** в поле **Minimum Line Width (pixels)** устанавливают минимальную ширину линий, затем нажимают кнопку **Setup Print Jobs** и переходят в меню составления заданий. В этом меню сначала каждому заданию в графе **Print Name** присваивают имя. Затем в списке слоев **Layers** указывают нужные (второй и последующие слои выбирают щелчком курсора при нажатой кнопке *Ctrl*).

В заключение устанавливают опции печати:

**Scale** — масштаб изображения;

**X и Y offset** — смещение изображения по горизонтали и вертикали от края бумаги;

**Drill Symbols Size** — размер символов отверстий;

**Rotate** — поворот изображения на 90° по часовой стрелке;

**Mirror** — зеркальное отображение;

**Draft** — вывод контуров линий;

**Thin Striked Text** — изображение векторных шрифтов тонкими линиями;

**RefDes, Type, Value, Pads, Vias** и т.п. - печать соответствующих объектов.

Нажатие на кнопку **Print Preview** позволяет просмотреть изображение, печать производится после нажатия на кнопку **Generate Printouts**.

**Создание и просмотр Gerber-файлов.** P-CAD PCB обеспечивает создание управляющих файлов в стандартном формате фотоплоттера Gerber по команде **File>Export>Gerber** и загрузку изображения фотошаблона для контроля ошибок по команде **File>Import>Gerber**.

**Вывод информации для сверления отверстий.** По команде **File>Export>N/C Drill** из базы данных спроектированной ПП извлекается информация о координатах отверстий и создается текстовый управляющий файл в формате станка с ЧПУ типа Excellon (аббревиатура N/C означает Numerically Controlled — числовое программное управление (ЧПУ)).

**Составление списков соединений.** Список соединений включает в себя список компонентов и цепей с указанием номеров выводов компонентов, к которым они подключены. Изолированные области металлизации, а также неподсоединенные выводы компонентов в этот список не заносятся.

По команде **Utils>Generate Netlist** открывается меню настройки параметров. В пункте меню **Netlist Format** выбирают формат списка соединений: P-CAD ASCII или Tango. Нажатием кнопки **Include Library Information** включают в файл списка соединений (только для формата P-CAD ASCII) информацию, необходимую для составления с помощью Library библиотеки корпусов компонентов, находящихся в данном проекте (по команде

**Library>Translate).**

По команде **File>Reports** создают текстовые отчеты о ПП.

## **6.9. Автоматическая трассировка печатной платы в P-CAD.**

6.9.1. Программа автоматической трассировки *Quick Route* поставляется совместно с P-CAD PCB. Вызывают Quick Route из управляющей оболочки P-CAD PCB по команде **Route>Autorouters** (рисунок 28).

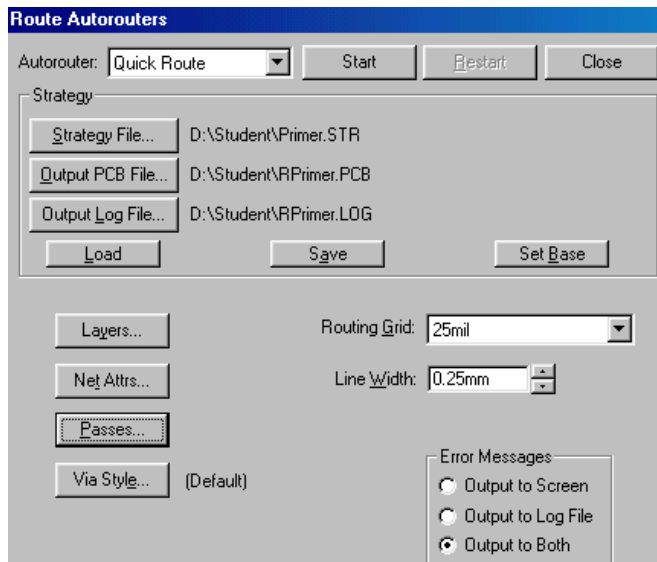


Рисунок 28 – Выбор автотрассировщика **Quick Route**

**Подготовка к трассировке.** Quick Route трассирует текущую ПП, загруженную в P-CAD PCB. На ней должны быть размещены все компоненты и указаны электрические связи между выводами. Предварительно на ПП можно разместить барьеры трассировки Keerout и некоторые проводники. Quick Route не изменяет предварительно размещенные проводники и не прокладывает трассы заново по более короткому пути.

В меню Quick Route (см. рис. 8.30) в нижней части экрана расположены следующие кнопки:

**Layers** – конфигурация слоев. Quick Route поддерживает до четырех слоев металлизации;

**Net Attrs** – редактирование атрибутов цепей;

**Passes** – выбор проходов трассировки;

**Via Style** – выбор типа ПО.

На строке **Line Width** выбирают ширину проводника от 0,1 mil (0,01 мм) до некоторого значения, зависящего от выбранного шага сетки. Например, для шага сетки 25 mil оно составляет 12 mil в английской системе или 0,305 мм в метрической системе, не более. Ширину индивидуального проводника назначают с помощью атрибута WIDTH, который может принимать любое значение.

В меню редактирования стратегии трассировки **Pass Selection** выбирают типы проходов трассировки, выполняемых в порядке их размещения на одноименной закладке. Трассировка начинается после нажатия на клавишу **Start** в меню Quick Route. При этом одновременно изменяется вид экрана, как

показано на рисунке 29.

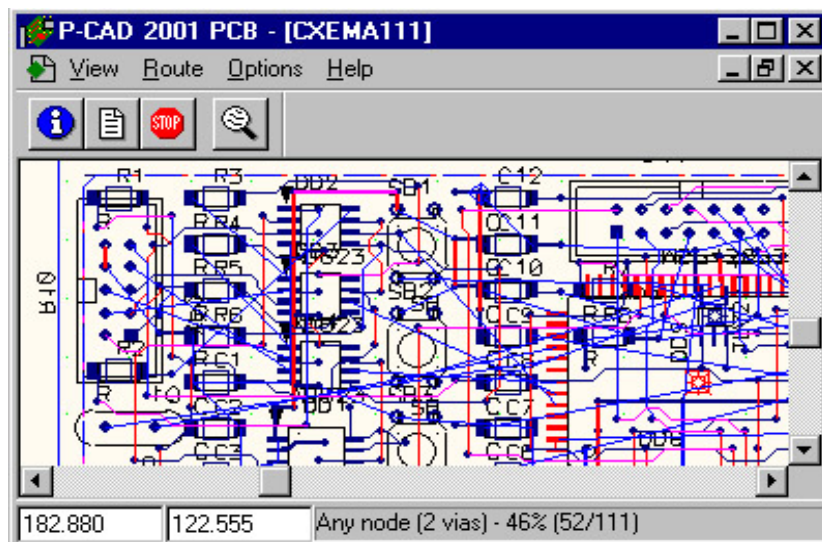


Рисунок 29 – Экран трассировщика **Quick Route**

По команде **Route>Info** выводится текущая информация о результатах трассировки. По команде **Route>Cancel** трассировка прекращается.

В рабочем окне на экране приводится изображение ПП. После прокладки проводника его изображение сразу же появляется на экране. Сообщение **Route completed** указывает о завершении трассировки. Одновременно выводятся данные о проценте разведенных цепей. Кроме того, в скобках приведено число разведенных цепей и общее число цепей, отделенное косой чертой.

Информация о стратегии трассировки, результатах выполнения отдельных фаз трассировки и итоговые данные помещаются в файл протокола, имеющий расширение имени .LOG.

#### **Ограничения Quick Route:**

- разрешены только простые КП и ПО (имеют одну и ту же форму на всех слоях), глухие межслойные ПО не допускаются;
- для цепей, не имеющих атрибута AUTOROUTEWIDE, допускается только один стиль ПО;
- диаметр ПО не может более чем в два раза превышать текущий шаг сетки трассировки;
- разрешенные размеры сетки трассировки: 12,5 mil, 16,7–16,6–16,7 mil, 20 mil и 25 mil. Метрическая сетка не разрешается;
- ширина проводника не может быть больше половины шага сетки;
- для ПО нельзя создать специальную сетку;
- выводы компонентов можно повернуть только на 90°;
- допускается не более 4 слоев металлизации.

**Расположение объектов вне сетки трассировки.** Если вывод компонента не совпадает с узлом выбранной сетки, то трасса проводника подводится к ближайшему пути и от него будет проложен короткий сегмент до центра КП. Поэтому не совпадающие с узлами сетки выводы компонентов способствуют блокированию каналов трассировки. Рекомендуется так располагать

компоненты, чтобы все их выводы совпадали с узлами сетки.

**Особенности трассировки компонентов с планарными выводами.** Quick Route позволяет выбрать предпочтительную ориентацию проводников на каждом слое трассировки. Для двусторонних ПП обычно выбирается горизонтальная ориентация проводников на верхнем слое (Top) и вертикальная на нижнем (Bottom). Однако это соглашение препятствует трассировке компонентов с планарными выводами. Например, если на верхней стороне ПП размещен планарный разъем, ориентированный параллельно нижнему краю ПП, к его средним выводам будет очень трудно подвести проводники. Для облегчения автоматической разводки компонентов с планарными выводами Quick Route генерирует рядом с каждым планарным выводом сквозное ПО (стрингер) и соединяет его с ним коротким проводником. После завершения разводки неиспользованные ПО автоматически удаляются.

**Выбор сетки трассировки.** В Quick Route можно выбрать одну из четырех сеток трассировки: регулярные сетки с шагом 25, 20, 12,5 mil и нерегулярная сетка 16,7-16,6–16,7 mil. Перед выбором шага сетки и ширины проводников необходимо выяснить на предприятии, где будет изготавливаться ПП, принятые технологические нормы.

Выполнение предварительных расчетов по выбору сетки и расположение компонентов абсолютно необходимо. Наименьший шаг сетки размещения, при которой возможно применение всех имеющихся в Quick Route сеток разводки, составляет 100 mil. При несогласованном выборе сеток размещения и разводки многие выводы компонентов не будут попадать в узлы сетки разводки, что не позволит достичь наиболее высокой степени разводки.

#### 6.9.2. Бессеточный трассировщик *Shape-Based Router*.

В программе Shape-Based Router используются принципы оптимизации нейронных сетей, и она в основном предназначена для трассировки многослойных ПП с высокой плотностью размещения компонентов в автоматическом, интерактивном и ручном режимах. Особые преимущества трассировщик имеет при наличии планарных компонентов, выполненных в разных системах единиц (метрической и английской).

Кроме того, эта программа основана на так называемой Shape-Based, или *бессеточной* технологии. Согласно ей все объекты ПП моделируются в виде совокупности геометрических фигур (прямоугольник, круг, дуга, трасса, полигон). В отличие от привязанных к сеткам технологий (Grid-Based), используемым, в частности, в P-CAD Quick Route, при бессеточной технологии каждый объект моделируется не набором узлов сетки, а геометрически точно, за счет чего достигается более плотный монтаж.

Программа Shape-Based Router нацелена на решение глобальных проблем (100 %-ная трассировка, минимизация количества ПО и др.) и не позволяет выполнить тонкую настройку стратегии трассировки (например, определенную цепь заключить в экран, провести дифференциальную пару проводников, проложить индивидуальную цепь заданной длины и т. п.).

Shape-Based Router обрабатывает ПП, имеющие до 30 слоев, до 4000

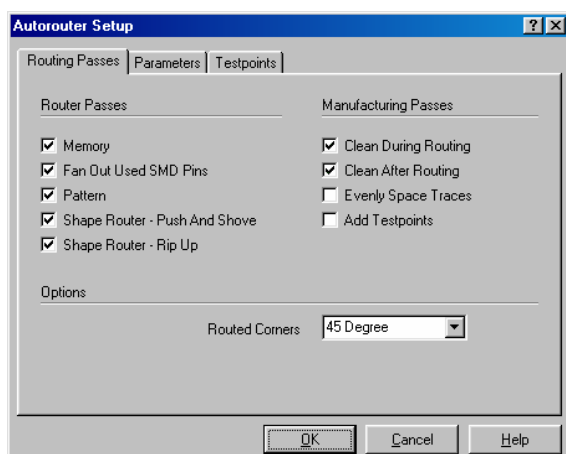


компонентов, до 5000 выводов в одном компоненте, до 10 000 цепей и до 16 000 электрических соединений.

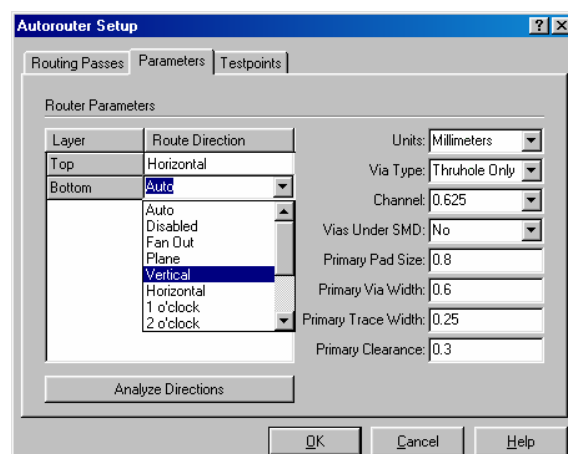
Программа Shape-Based Router может быть вызвана автономно из среды Windows (файл SR.EXE) или из меню **Route P-CAD PCB** (команда **Autorouters**). В диалоговом окне вызова этой программы можно только указать имена файлов: исходной ПП в формате P-CAD Route File (\*.PRF), выходной (оттрассированной) ПП в формате P-CAD PCB (\*.pcb), протокол команд (\*.LOG). По умолчанию эти файлы получают те же имена, что и файл исходного проекта, но в начале имени выходных файлов добавляется префикс R.

В Shape-Based Router передаются из P-CAD PCB значения ширины трасс, присвоенные цепям с помощью атрибутов Width, и тип ПО, установленный по умолчанию. В качестве глобального зазора Primary Clearance принимается зазор Line to Line, заданный для слоя Bottom (его можно в дальнейшем изменить). Трассы, проложенные вручную, защищаются от изменений по команде **Edit>Fix**.

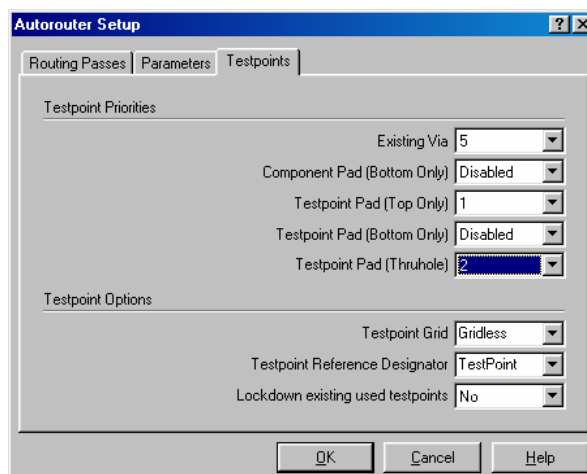
**Настройка стратегии трассировки.** По команде **Options>Auto-Router** открывается диалоговое окно настройки стратегии трассировки (рисунок 30), имеющее 3 закладки. На закладке *Routing Passes* в полях Router Passes и Manufacturing Passes выбирается тип трассировки:



а



б



в

Рисунок 30 – Диалоговое окно **Autorouter Setup**: а – закладка **Routing Passes**, б – закладка **Parameters**, в – закладка **Testpoints**



**Memory** – трассировка типа «память»;

**Fan Out User SMD Pins** – генерация веерообразно расположенных стрингеров для выводов планарных компонентов;

**Pattern** – трассировка фрагментов ПП с использованием типовых образцов, имеющихся в программе (рекомендуется включать всегда);

**Shape Router – Push And Shove** – раздвигание и отталкивание ранее проложенных мешающих трасс;

**Shape Router – Rip Up** – разрыв и повторная трассировка трасс, проложенных на предыдущих проходах с нарушениями (превышение допустимых зазоров или пересечение на одном слое);

**Clean During Routing** – уменьшение количества изгибов трасс и удаление лишних ПО в процессе трассировки;

**Clean After Routing** – уменьшение количества изгибов трасс и удаление лишних ПО после трассировки;

**Evenly Space Traces** – равномерное распределение трасс;

**Add Testpoints** – вставка контрольных точек.

В поле Options выбирается тип изгибов трасс Routed Corners: под углом 90 или 45°.

На закладке *Parameters* в поле Router Direction для каждого слоя ПП выбирают предпочтительную ориентацию трасс из следующего перечня:

**Auto** – предоставление выбора программе;

**Disable** – запрет для трассировки;

**Fan Out** – генерация веерообразно расположенных ПО, соединенных с выводами планарных компонентов короткими отрезками трасс (стрингерами);

**Plane** – резервирование слоя для использования в качестве слоя металлизации;

**Vertical** – вертикальная;

**Horizontal** – горизонтальная;

**1 o'clock, 2 o'clock, 4 o'clock, 5 o'clock, 45/, 45\|** – выбор одной из ориентации (разрешается для многослойных ПП);

**Any Direction** – отказ от прокладки трасс определенной ориентации (разрешается для многослойных ПП).

Нажатие на панель Analyze Directions выбирает предпочтительное направление трассировки слоев, имеющих признак Auto. Кроме того, назначаются следующие параметры (рис. 8.32, б):

**Units** – система единиц величин, отображаемых на экране дисплея (Mils, Inches, Centimeters, Millimeters, Microns; на точность трассировки не влияет);

**Via Type** – запрет (No Vias), разрешение (Thruhole Only) использования ПО;

**Via under SMD** – запрет (No), разрешение (Yes) размещения ПО под КП планарных компонентов;

**Channel Size** – размер канала трассировки, равный сумме ширины трассы Primary Trace Width и допустимого зазора Primary Clearance. Это значение может быть изменено; для выполнения *бессеточной* трассировки назначается 1 mil и менее.

**Primary Pad Size** – диаметр большинства КП выводов штыревых компонентов. Если штыревых компонентов нет, то этот параметр равен наибольшему размеру КП планарных компонентов (используется при расчете Channel Size);

**Primary Via Width** – диаметр ПО, выбранного в P-CAD PCB в качестве ПО по умолчанию;

**Primary Trace Width** – ширина большинства трасс ПП (устанавливается программой на основе анализа таблицы цепей меню команды Edit>Net; используется при расчете Channel Size и прокладке трасс, которым в P-CAD PCB не был назначен атрибут Width);

**Primary Clearance** – минимально допустимый зазор между любыми объектами, т.е. Track to Track, Track to Pad, Track to Via, Via to Pad (устанавливается в PCAD PCB, но может быть изменен).

Для облегчения доработки ПП после ее трассировки рекомендуется не изменять значение Channel Size, рассчитанное программой. Бессеточная трассировка (с шагом сетки 1 mil и менее) целесообразна в проектах, имеющих большое разнообразие значений ширины трасс и зазоров. При использовании значения Cannel Size, установленного программой, нет разницы между качеством сеточной и бессеточной трассировки.

На закладке *Testpoints* (рисунок 30, в) устанавливается приоритет размещения контрольных точек (КТ), размещаемых на ПП, если на закладке *Routing Passes* отмечена опция Add Testpoints.

По команде **Edit>Net Attributes** открывается диалоговое окно (рисунок 31) задания атрибутов всем цепям проекта.

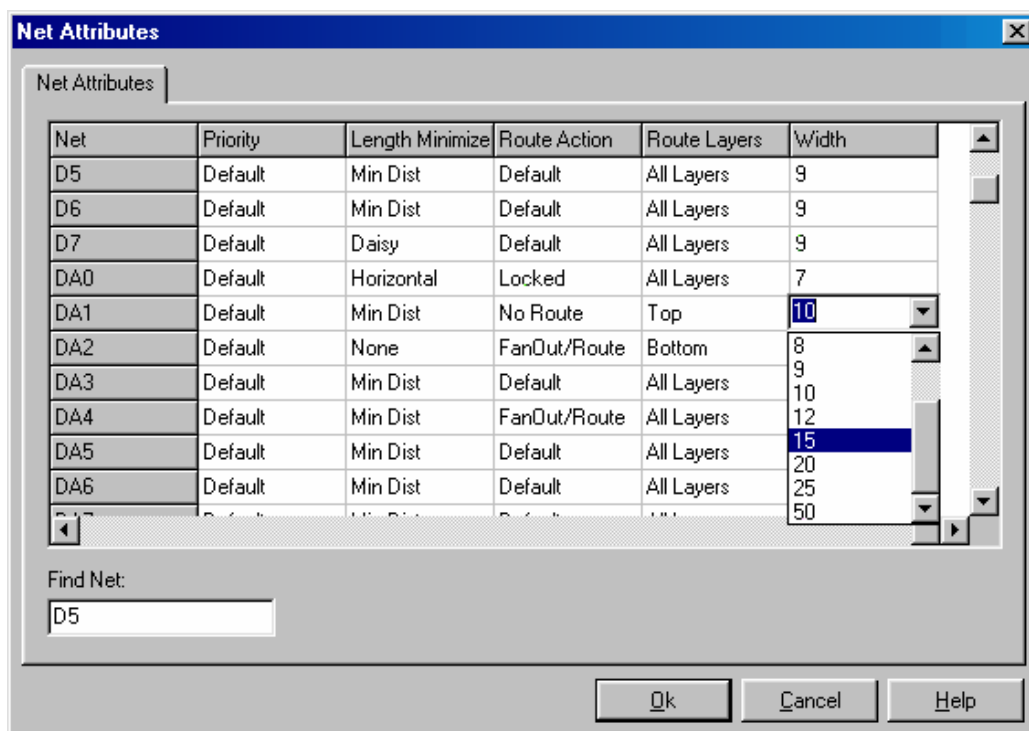








Рисунок 31 – Диалоговое окно **Net Attributes**



Перед выполнением трассировки полезно ознакомиться со

статистическими данными о ПП по команде **Reports>Pre-Route Synopsis** для внесения при необходимости коррекции в исходную ПП или стратегию трассировки. Полезная информация о плотности связей ПП может быть получена также по команде **View>Density**.

Автотрассировка всей ПП начинается по команде **Tools>Start Autorouter** . Интерактивная трассировка выполняется по другим командам меню **Tools: AutoRoute Connection** , **AutoRoute Net** , **AutoRoute Component** , **AutoRoute Area** . Ручная прокладка трассы выполняется по команде **Manual Route** . С помощью команды **Tools>Sketch Route** курсором рисуется примерное расположение трассы выбранной цепи, которая прокладывается затем автоматически.

По завершении трассировки по командам **Reports>Routing Statistics**, **Reports>Reports** можно просмотреть итоговые отчеты.

Возвращение в P-CAD PCB после трассировки производится по команде **File>Save and Return**.

**6.10. Доработка печатной платы.** В ряде случаев после автоматической трассировки печатная плата требует дополнительной доработки. Элементы печатного монтажа редактируются с помощью команд **Edit/Delete** (удалить), **Edit/Properties** (редактировать свойства) и др. При необходимости используют команды размещения новых элементов **Place Connection** (разместить соединение), **Place Via** (разместить переходное отверстие) и др. После добавления новых элементов удобно использовать ручную трассировку – команда **Route/Manual** . Ввод дополнительных текстовых надписей (позиционные обозначения элементов, маркировка печатной платы и т.п.) выполняется по команде **Place text** . Доработанная плата сохраняется командой **Save**.

## 7 ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ЭА В AutoCAD

### 7.1. Назначение и возможности пакета AutoCAD

AutoCAD – универсальная система автоматизированного проектирования (САПР) фирмы Autodesk (США), завоевавшая наибольшую популярность во всем мире – 76 % пользователей работают в AutoCAD. Многие предприятия в разных странах обмениваются между собой чертежами в формате AutoCAD \*.dwg. Основным достоинством AutoCAD является доступность для создания на его базе мощных специализированных расчетно-графических пакетов.

Система AutoCAD позволяет разрабатывать двухмерные (плоские) чертежи и рисунки, а также разрабатывать и моделировать каркасные, полигональные (поверхностные) и объемные (твердотельные) конструкции в различных областях человеческой деятельности (техника, строительство и архитектура, швейное производство и т.п.).

Требования к компьютеру различны в зависимости от версии программного обеспечения. Для каждой более поздней версии AutoCAD требования к компьютеру ужесточаются. Так, для AutoCAD 2000 необходим процессор не хуже P 133, рекомендуемый объем памяти – 64 Мб (минимальный – 32 Мб), жесткий диск – не менее 130 Мб свободного пространства, 50 Мб свободного дискового пространства в системном каталоге, не менее 64 Мб в файле подкачки. Для AutoCAD 2004 необходим компьютер не ниже Pentium III с процессором 500 МГц, оперативной памятью 256 Мб, винчестером 2 Гб; на винчестере надо иметь свободными 350 Мб под программное обеспечение и не менее 250 Мб для временных файлов, которые система образует во время сеансов работы. Для установки версии AutoCAD 2004 рекомендуется одна из следующих операционных систем: Windows 2000; Windows XP; Windows NT 4.0 (с обновлением Service Pack 6a или более поздним).

Начиная с версии 2000 (релиз 15) и выше, в AutoCAD был введен новый механизм оформления чертежей. Этот механизм использует такие понятия, как *пространство модели* (или *модель*), *пространство листа*, *видовой экран*, *ассоциативные размеры*.

Процесс проектирования и оформления КД можно разделить на следующие этапы:

1. Проектирование (вычерчивание) в пространстве модели конструкции в масштабе 1:1. На данном этапе проектируется конструкция и строится необходимое число видов без нанесения на них пояснительной информации и размеров. Чертежные виды могут располагаться в пространстве модели произвольно.

2. Из шаблона создается необходимое число новых листов необходимого формата с штампом и основной надписью.

3. На каждом из листов создаются видовые экраны, представляющие собой чертежные виды. Для каждого видового экрана настраивается масштаб

отображения и другие параметры.

4. Видовые экраны размещаются на листе и закрепляются.

5. В пространстве листа на виды наносятся ассоциативные размеры, а также наносятся все остальные элементы оформления.

К достоинствам данного способа оформления стоит отнести:

- удобство проектирования (нет необходимости чертить в масштабе; нет необходимости точно размещать чертежные виды);

- легкость размещения чертежных видов на листе;

- более «аккуратное» представление многостраничных документов (один лист – одна закладка);

- возможность сохранения для каждого листа уникальных настроек вывода на печать.

*Пространство модели и пространство листа.* Пространством модели называется чертежная область, предназначенная для проектирования изделия. Ее размеры во всех направлениях не ограничены. Рекомендуется в пространстве модели чертить конструкцию в масштабе 1:1 независимо от ее габаритов. При этом все дополнительные (местные) виды чертятся также в масштабе 1:1, причем их взаимное расположение может быть произвольным.

Пространством листа называется чертежная область, предназначенная для вывода изображения на печать. Ее особенностью является то, что 1 мм пространства листа теоретически должен быть равен 1 мм на бумаге печатающего устройства. На практике получается, что почти все малоформатные принтеры имеют поля печати. Поэтому при выводе на печать имеется некоторая погрешность (уменьшение). Обычно она не превышает 5–8 %.

*Видовые экраны.* Видовой экран (ВЭ) представляет собой фрагмент модели, находящийся на листе. При этом для каждого видового экрана отдельно можно настроить масштаб отображения. В сущности, ВЭ является границей чертежного вида на листе. Видовые экраны бывают двух типов: прямоугольные и произвольной формы. Создание и управление ВЭ производится при помощи инструментов, представленных на панели *Viewports*. На этой панели есть также поле, отображающее масштаб для выделенного ВЭ.

Видовые экраны могут накладываться друг на друга полностью или частично. Для того чтобы границы ВЭ не выводились на печать, их следует помещать на непечатаемый слой.

## **7.2 Примерный алгоритм оформления чертежа детали в AutoCAD**

Очень часто перед построением чертежей для получения опорных точек чертежа целесообразно выполнить дополнительные построения. Для этого следует использовать специально выделенный слой. Кроме того, различные элементы чертежа также целесообразно выполнять в различных слоях различными цветами. Исходя из этих соображений, можно рекомендовать следующую последовательность (этапы) оформления чертежа детали

электронной аппаратуры:

### **1. Подготовительные операции.**

1.1. Задать формат чертежа (поля в котором будет создаваться изображение). Для этого необходимо выполнить команду **limits** (меню *Format | Drawing Limits*) По этой команде ввести координаты левого нижнего угла чертежа и правого верхнего. Например, для формата **A3** необходимо ввести соответственно 0, 0 и 420, 297.

1.2. Установить командой **grid** требуемую координатную сетку и режим вывода на экран координатной сетки (включить кнопку **GRID** в строке состояния). Установить привязку к узлам сетки (включить кнопку **SNAP** в строке состояния). При необходимости включить режим ортогональности (кнопка **ORTHO** в строке состояния).

1.3. Командой **zoom** (меню *View | Zoom*) установить требуемый масштаб изображения.

1.4. Установить слои с помощью команды **layer** (пункт меню *Format | Layer*) Целесообразно ввести следующие слои:

*MAIN* – слой для основных линий чертежа;

*FINE* – слой тонких линий (штриховка, резьба и т.п.);

*DIM* – слой для простановки размеров;

*AXIS* – слой осевых линий (тип линии DASH DOT – штрихпунктир);

*BUILD* – слой для дополнительных построений;

*ATTR* – слой для атрибутов.

### **2. Создание чертежа.**

2.1. Загрузить форматку листа с использованием команды вставки блока или загрузить шаблон \*.dwt;

2.2. В слое *AXIS* построить осевые линии;

2.3. В слое *BUILD* выполнить необходимые дополнительные построения для получения опорных точек чертежа;

2.4. Сделать обводку детали в слое *MAIN* с помощью команды **PLINE** с толщиной пинии ~0,8 мм. При формировании основных пиний обратить внимание на формирование замкнутых контуров штриховки. После завершения формирования основных линий слой *BUILD* можно выключить;

2.5. В слое *FINE* обозначить резьбу, нанести штриховку;

2.6. В слое *DIM* нанести размеры;

2.7. Выполнить ввод текста технических требований, обозначений видов и т.п. в соответствии с нормативно-технической документацией на проектирование деталей машиностроения;

2.8. Заполнить основную надпись чертежа;

2.9. Сохранить чертеж (*File | Save*).

### 7.3.Экспорт платы печатной из P-CAD в AutoCAD. Особенности оформление чертежа платы печатной с использованием пакета AutoCAD

Рекомендуется оформлять чертеж платы печатной в следующей последовательности:

#### 1. Подготовительные операции.

1.1. Выполнить настройку рабочей среды AutoCAD или загрузить сохраненный шаблон из файла \*.dwt.

1.2. Загрузить в PCAD PCB файл \*.pcb с информацией о спроектированной плате печатной.

1.3. Выполнить экспортирование файла в формате \*.dxf, для чего:

– выделить в рабочей области PCAD PCB зону с экспортируемой информацией;

– выполнить команду **FILE→EXPORT→DXF**.

1.4. В открывшемся диалоговом окне экспорта данных из P-CAD PCB (рисунок 32):

– убрать галочку в пункте *Output Drill Symbols* (информация о стеках контактных площадок);

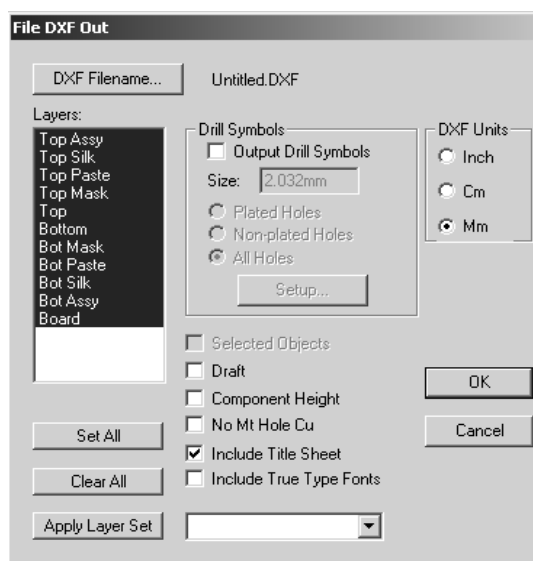


Рисунок 32 – Диалоговое окно экспорта данных

– выбрать единицы измерения (mm);

– выбрать для экспорта все созданные в PCAD PCB слои (кнопка **Set All**).

1.5. Указать имя и расположение экспортируемого файла (кнопка **DXF Filename...**).

1.6. Нажать кнопку **OK**.

#### 2. Создание базового блока чертежа.

2.1. Открыть в AutoCAD сохраненный файл формата \*.dxf.

2.1.1. Если проводники необходимо распечатать реальной толщины (что редко), то замораживаются слои топологии (*TOP*, *BOTTOM* и т.д.).

2.1.2. При импорте в AutoCAD файла платы из P-CAD в формате \*.dxf автоматически создаются все выделенные слои. Информация для дальнейшего оформления платы печатной содержится на слоях: *TOP*, *BOTTOM* – трассировка платы, *BOARD* – контур платы печатной; *TOP SILK*, *BOT SILK* – информация о маркировке элементов). Остальные слои можно «заморозить», сделать невидимыми или удалить.

2.2. При необходимости – произвести корректировку трассировки. Для этого с помощью многократного применения команды **EXPLODE** разгруппировать компоненты файла, затем произвести редактирование трасс.

2.3. Удалить мелкие объекты (круги, дуги и т.п.), созданные в P-CAD PCB и экспортированные в файл \*.dxf, для чего:

- открыть диалоговое окно **Properties** (рисунок 33);
- нажать кнопку **Quick Select**;
- выбрать параметры: *Object type* – *Arc*, *Properties* – *Radius*, *Operator* – *Less then*, *Value* – *0.03*;
- нажать кнопку **OK**.
- нажать кнопку **Delete**.

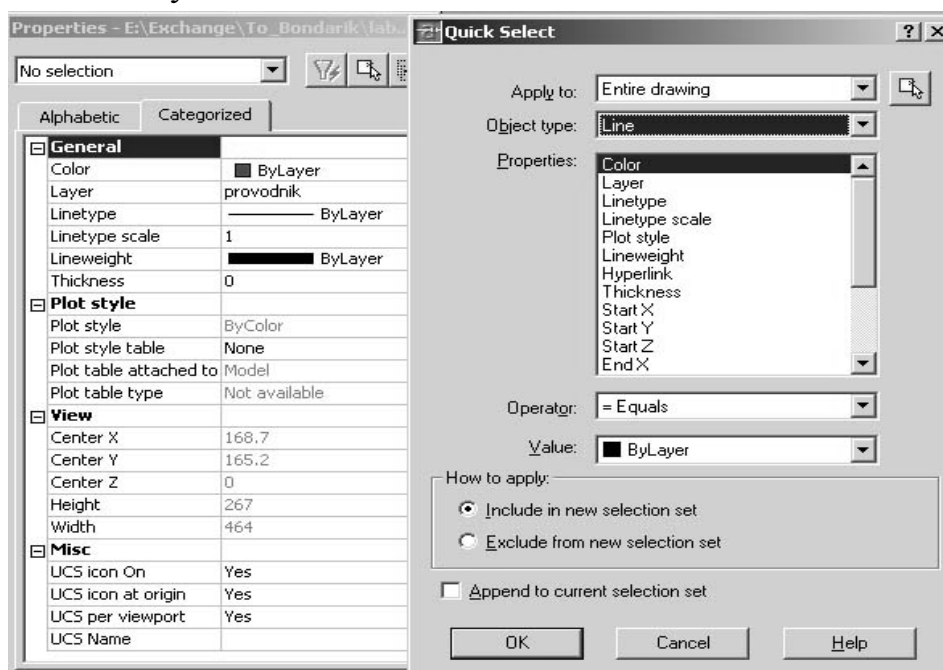


Рисунок 33 – Диалоговое окно команды **Properties**

2.4. Выделить все в рабочем поле и создать блок по команде **BLOCK**.

2.5. Созданный блок перенести в настроенный шаблон (толщины линий лучше задавать по слоям, но можно и по цветам – тогда необходимо позаботиться о придании разным цветам различных значений толщины линий). Если единицы шаблона – мм, плата автоматически примет размеры в мм. Рамка чертежа должна также быть в шаблоне.

2.6. Масштабировать созданный блок (при необходимости) по команде **SCALE**, для чего:

- проверить размеры заранее известного объекта по команде



**DIMLINEAR.** Например, известно расстояние между двумя вывода интегральной микросхемы в DIP-корпусе – 2,5 мм;

– выделить блок и применить команду **SCALE** (масштабный фактор (*scale factor*) выбирается больше 1,0, если необходимо увеличить размеры блока).

### 3. Создание чертежа платы печатной.

3.1. Созданный в п. 2 блок зеркально отразить по команде **MIRROR** при включенном режиме **ORTHO**.

3.2. Разбить полученные блоки на примитивы по команде **EXPLODE**.

3.3. «Заморозить» слои *BOARD*, *TOP*, *TOP\_SILK* и удалить примитивы базового блока.

3.4. «Разморозить» слои *TOP*, *TOP\_SILK*.

3.5. «Заморозить» слои *BOTTOM*, *BOT\_SILK* удалить примитивы зеркально отраженного блока.

3.6. Включить слои *BOARD*, *BOTTOM*, *BOT\_SILK*.

3.7. Создать вид сбоку платы печатной, для чего необходимо по команде **RECTANG** в месте расположения линии зеркального отображения блоков вставить прямоугольник с шириной, равной толщине платы (с учетом масштаба чертежа) (рисунок 34).

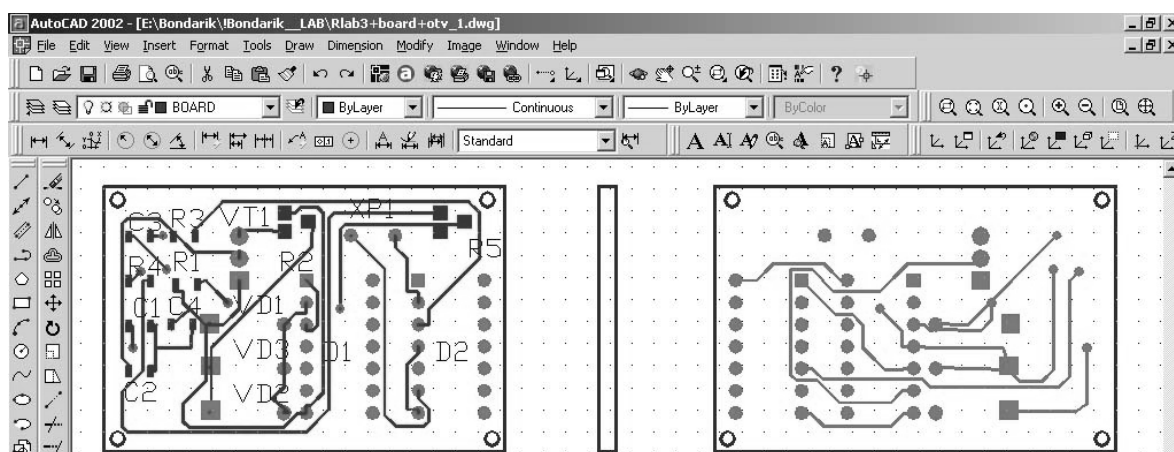


Рисунок 34 – Экран AutoCAD со сформированными видами платы печатной

3.8. Нанести линии координатной сетки на основной вид печатной платы:

– создать новый слой (например, *KS*);

– нанести линию координатной сетки по команде **LINE** в созданном слое поверх одной из сторон платы печатной;

– клонировать по команде **ARRAY** созданную линию на поверхность текущего вида платы печатной с заданным заранее шагом (например, 2,5 мм).

3.9. Нанести вертикальные и горизонтальные линии координатной сетки на все сигнальные виды платы печатной по аналогии.

3.10. Подписать значения координат, технические требования, добавить размеры и шероховатость.

3.11. Заполнить основную надпись чертежа аналогично лабораторной работе № 1. Чертеж платы печатной электронного блока оформлен.

#### 7.4. Особенности оформления сборочного чертежа электронного блока с использованием пакета AutoCAD

Рекомендуется оформлять сборочный чертеж электронного блока по следующей последовательности:

##### 1. Подготовительные операции.

1.1. Выполнить настройку рабочей среды AutoCAD или загрузить сохраненный шаблон из файла \*.dwt.

1.2. Экспортировать из P-CAD необходимые слои: *TOP SILK*, *BOT SILK* (маркировка и корпуса элементов с двух сторон платы, если используется двухсторонний монтаж); *TOP ASSY*, *BOT\_ASSY* (дополнительная информация о корпусах элементов) и *BOARD* (контур платы). Последовательность действий описана в параграфе 8.3.3 в п.п. 1.2-1.6.

##### 2. Создание сборочного чертежа.

2.1. Открыть в AutoCAD сохраненный файл формата \*.dxf.

2.2. При необходимости – произвести корректировку изображения.

2.3. Выделить все в рабочем поле и создать блок по команде **BLOCK**.

2.4. Созданный блок перенести в настроенный шаблон.

2.5. Масштабировать созданный блок (при необходимости) по команде **SCALE**, для чего:

- проверить размеры заранее известного объекта по команде **DIMLINEAR**;

- выделить блок и применить команду **SCALE** (масштабный фактор (*scale factor*) выбирается больше 1,0, если необходимо увеличить размеры блока).

2.6. Добавить к созданному изображению вид сбоку и дополнительные виды (при необходимости).

2.7. Нанести на чертеже размеры, позиционные обозначения деталей и сборочных единиц согласно спецификации (рисунок 35).

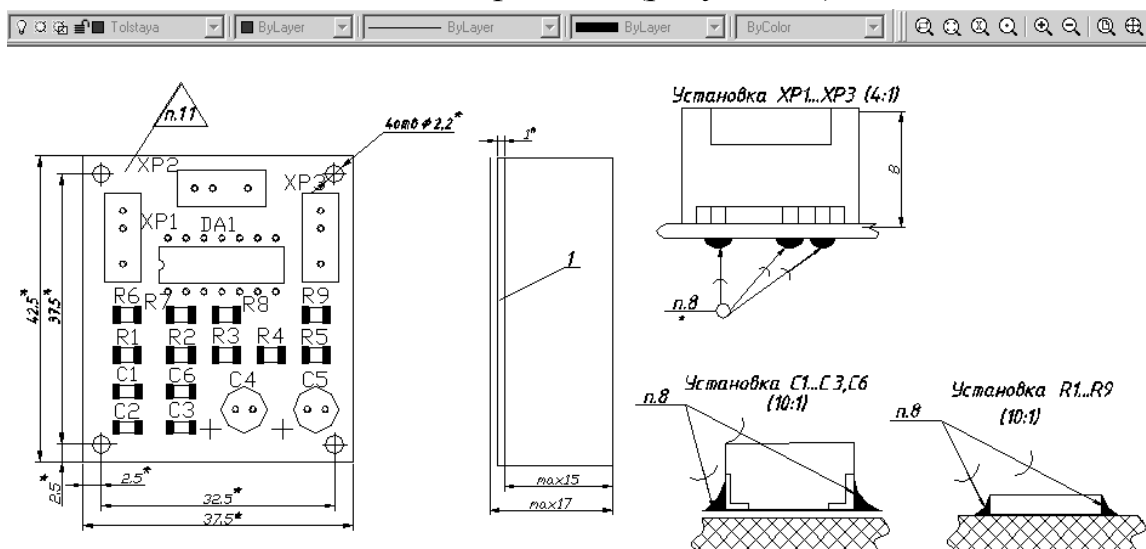


Рисунок 35 – Экран AutoCAD с дополнительными построениями

2.8. Нанести на чертеже технические требования и заполнить основную надпись. Сборочный чертеж электронного блока оформлен.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учебное пособие для вузов / О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров и др.: Под ред. О.В. Алексеева. - М.: Высш. шк., 2000. – 479 с.
2. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин и др. – М.: Высш. шк., 2003. – 223 с.
3. САПР. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для техн. вузов: В 9 кн. – Мн.: Выш. шк., 1989.
4. Ли К. Основы САПР (CFD/CAM/CAE). – СПб.: Питер Принт, 2004. – 560 с.
5. Разевиг В.Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001. – М.: «СОЛОН-Р», 2001. – 557 с.
6. Федоренков А., Кимаев А. AutoCAD 2002: практический курс. – М.: «ДЕСС КОМ», 2002. – 576 с.
7. Система автоматизации технологического проектирования ТехноПро. Версия 5. Руководство пользователя. - М: АО «ТОП Системы», 2003. – 485 с.
8. Погорелов В. AutoCAD 2006: моделирование в пространстве для инженеров и дизайнеров. – СПб.: BHV-СПб, 2006. – 368 с.
9. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: Учеб. пособие. – М.: Радио и связь, 2001. – 220 с.

### Дополнительная

10. Саврушев Э.Ц. P-CAD для Windows: система проектирования печатных плат: практическое пособие. – М.: Эком, 2002. – 320 с.
11. Тику Ш. AutoCAD 2004. – СПб.: Питер Принт, 2004. – 1040 с.
12. Ткачев Д. AutoCAD 2005. – СПб.: Питер Принт, 2005. – 462 с.
13. Мироненко И.Г. Автоматизированное проектирование узлов и узлов и блоков РЭС средствами современных САПР. - М.: Высш. шк., 2002. – 391 с.
14. Деньдобренко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1980. – 384 с.
15. T-FLEX PARAMETRIC CAD. Двумерное проектирование и черчение. Трехмерное моделирование. Руководство пользователя. – М.: АО «ТОП Системы», 1999. – 245 с.
16. Techcard. Версия 3.5. Руководство пользователя / А.М. Куприяничик, И.М. Гинзбург, Ф.И. Печков и др. – Мн.: Репринт, 1999. – 183 с.
17. Аветисян Д.А. Автоматизация проектирования электрических систем. – М.: Высш. шк., 1998. – 254 с.
18. Кудрявцев Е.М. Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
19. Pro/ENGINEER. Руководство по обучению основам конструирования. – USA: Parametric Technology Corporation. – 1996. - 243 с.
20. OrCad 10. Проектирование печатных плат / С.А. Кузнецова, А.В. Нестеренко, А.О. Афанасьев; Под ред. А.О. Афанасьева. – М.: Горячая

линия-Телеком, 2005. – 454 с.

21. Степанов Н.В., Голованов А.А. Практический курс пользователя Pro/Engineer 2001 / Под общ. ред. Д.Г. Красовского. – М.: КомпьютерПресс, 2001. – 271 с.

22. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ. пособие / Э.Т. Романычева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

### **Учебно-методические пособия**

23. Табаровец В.В., Стацук И.П. Методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования». – Мн.: МРТИ, 1993. – 59 с.

24. Методическое пособие по разработке печатного монтажа / Ж.С. Воробьева, Н.С. Образцов, С.Н. Юрко и др. – Мн.: МРТИ, 1993. – 120 с.

25. Печатные платы в конструкциях РЭС: Учеб. пособие по курсу «Конструирование радиоэлектронных устройств» для студ. спец. Т 08.01 00 «Проектирование и производство РЭС» / Под ред. Ж.С. Воробьевой, Н.С. Образцова. – Мн.: БГУИР, 1999. – 87 с.

26. Станкевич А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Прикладные пакеты систем автоматизированного проектирования проблемно-ориентированных электронно-вычислительных средств». – Мн.: БГУИР, 2000. – 36 с.

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

28. Системы автоматизированного проектирования: Лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» дневной и заочной форм обуч.: В 3 ч. Ч. 2. Проектирование электронной аппаратуры в AutoCAD / В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич, Н.Е. Казаринова, М.А. Беляцкий. – Мн.: БГУИР, 2005. – 53 с.

29. САПР P-CAD 2001: Лаб. практикум по курсу «Прикладные пакеты систем автоматизированного проектирования проблемно-ориентированных электронных вычислительных средств» для студ. спец. 40 02 02 «Электронные вычислительные средства» дневной формы обуч. / А.В. Станкевич, Д.С. Лихачёв. – Мн.: БГУИР, 2004. – 55 с.

30. Системы автоматизированного проектирования: Лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптические системы и технологии» дневной и заочной форм обуч.: В 3 ч. Ч. 3. Параметрическое проектирование электронной аппаратуры в пакете T-FLEX CAD / В.М. Бондарик, С.В. Кракасевич, Д.В. Марковник. – Мн.: БГУИР, 2006. – 49 с.

31. Медицинская электроника. Дипломное проектирование / В.М. Бондарик, В.А. Бурский, А.Н. Осипов и др.; Под ред. А.П. Достанко. – Мн.: БГУИР, 2002. – 158 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ***Пример исходных данных, содержания пояснительной записки и перечня графического материала курсовой работы***

Тема дипломного проекта: Аппарат акустоэлектронный

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

1. Масса аппарата: не более 350 гр.
2. Габаритные размеры аппарата без электродов: не более 260x46x75 мм.
3. Ток потребления: не более 300 мА.
4. Питание: от источника питания напряжением  $(3.0 \pm 0.3)$  В
5. Условия эксплуатации:
  - диапазон рабочих температур  $+10 \dots +35$  °С;
  - относительная влажность до 95% при температуре  $+30$  °С;
  - атмосферное давление  $710 \pm 90$  Торр;
  - механические воздействия отсутствуют.
6. Оформление ПЗ – по ГОСТ 2.105-95.
7. Остальные требования уточняются в процессе проектирования.

#### СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Введение.

1. Анализ задания на курсовое проектирование.
2. Компонентный расчет схемы
3. Компонентный расчет платы
4. Решение задачи размещения электронного блока
5. Конструкторский расчет платы печатной
6. Автоматизированная разработка платы электронного блока
7. Разработка конструкторской документации на электронный блок

Заключение

Список использованных источников.

Приложение А - Спецификация сборочных единиц, перечень элементов электрической принципиальной схемы.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

1. Электрическая функциональная схема устройства – 0,5-1 лист формата А1.
2. Электрическая принципиальная схема устройства – 0,5-1 лист формата А1.
2. Сборочный чертеж электронного блока – 0,5-1 лист формата А1.
4. Чертеж печатной платы – 0,5-1 лист формата А1.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

*Пример титульного листа курсового проекта*

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

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

**Факультет:** *компьютерного проектирования*

**Кафедра:** *электронной техники и технологии*

**К защите допустить**

\_\_\_\_\_ **А.В. Петров**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_ г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

***НА ТЕМУ:***

**АППАРАТ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЙ**

**Разработал: ст. гр. 311801**

\_\_\_\_\_ **И.П. Иванов**

**Принял:**

\_\_\_\_\_ **А.В. Петров**

**МИНСК 2006**