

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Проектирование  
микропроцессорных устройств  
и интеллектуальных приборов**

**Методические указания по выполнению  
курсовой работы**

Казань 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Задачи и тематика курсовой работы.....	5
2	Общие требования к курсовой работе.....	7
3	Обеспечение требований электробезопасности при проектировании средств медицинской электроники.....	11
3.1	Особенности эксплуатации средств медицинской электроники .....	11
3.2	Защита от прикосновения к частям, находящимся под напряжением.....	12
3.3	Защита от недопустимо большого напряжения прикосновения .....	13
3.4	Особенности обеспечения электробезопасности различных видов электро медицинской аппаратуры.....	19
4	Анализ исходных данных. Выбор структурной схемы .....	23
4.1	Классификация электротерапевтической аппаратуры.....	23
4.2	Разработка структурной схемы терапевтического аппарата.....	27
5	Разработка функциональной (принципиальной) схемы аппарата .....	33
6	Разработка алгоритма и программы управления электронного лечебного аппарата с микропроцессорным управлением .....	45
7	Разработка конструкции устройства.....	50
7.1	Особенности проектирования электронной лечебной аппаратуры .....	50
7.2	Компоновочный расчет.....	51
7.3	Расчет надежности .....	52
7.4	Автоматизированный расчет надежности модулей электронной лечебной аппаратуры.....	58
7.5	Конструирование и расчет печатных плат.....	65
8	Автоматизированное проектирование электронной лечебной аппаратуры.....	77
8.1	Моделирование электрических схем.....	77
8.2	Проектирование печатных узлов в P-CAD .....	83
8.3	Оформление чертежей электронной аппаратуры в AutoCAD .....	119
9	Оформление комплекта конструкторских документов .....	127
9.1	Комплектность и обозначение конструкторских документов .....	127
9.2	Правила оформления схем .....	130
9.3	Правила оформления спецификаций.....	141
9.4	Требования к чертежам деталей .....	145
9.5	Оформление сборочных чертежей.....	159
9.6	Оформление текстовых документов.....	168

Список рекомендуемой литературы .....	176
Приложение А. Пример исходных данных, содержания пояснительной записки и перечня графического материала курсовой работы .....	181
Приложение В. Максимальные значения интенсивностей отказов элементов электронной аппаратуры .....	185
Приложение Г. Данные к расчету поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ .....	188
Приложение Д. Значения поправочных коэффициентов.....	192
Приложение Е. Средние значения случайного времени восстановления $\tau_j$ элементов и функциональных частей электронной аппаратуры .....	193
Приложение Ж. Пример расчета надежности электронного блока с помощью программы АСРН.....	194
Приложение И. Примеры некоторых классов классификатора ЕСКД .....	195
Приложение К. Буквенный код наиболее распространенных видов элементов.....	197
Приложение Л. Пример выполнения перечня элементов к схеме электрической принципиальной .....	200
Приложение М. Пример выполнения спецификации .....	202
Приложение Н. Материалы, наиболее часто применяемые при разработке ЭЛА .....	204
Приложение П. Материалы, используемые для изделий с электромонтажом.....	207
Приложение Р. Пример оформления чертежа печатной платы .....	208
Приложение С. Пример оформления сборочного чертежа печатного узла.....	210

## 1 ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа по дисциплине «Проектирование микропроцессорных устройств и интеллектуальных приборов» (ПМУИП) выполняется после изучения основных дисциплин по проектированию средств медицинской электроники СМЭ. В результате выполнения курсовой работы студент должен расширить, систематизировать и закрепить знания основных принципов проектирования СМЭ, методик их оптимального расчета с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), методов воздействия физическими факторами на организм человека с целью получения лечебного эффекта, знания структуры и основ проектирования современных аппаратов, включая устройства с микропроцессорными блоками управления, регистрации и обработки биомедицинских сигналов.

Основными задачами курсовой работы являются:

- систематизация и закрепление теоретических знаний по основным разделам дисциплины;
- развитие навыков самостоятельного применения теоретических и практических знаний для решения инженерно-технических задач при проектировании наиболее эффективных терапевтических аппаратов;
- расширение профессионального кругозора и развитие навыков самостоятельной работы с научной, патентной, технической и справочной литературой, действующей нормативно-технической документацией;
- развитие творческого отношения к выбранной специальности, умения оперативно использовать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки при проектировании СМЭ, чувства ответственности за принятые решения;
- широкое использование вычислительной техники, пакетов прикладных программ для решения проектных задач любой степени сложности.

Темы заданий на курсовую работу должны соответствовать требованиям квалификационной характеристики инженеров специальности «Медицинская электроника», современному развитию науки и техники и могут быть различного профиля. Наиболее распространены работы инженерного и научно-исследовательского типа.

Тематика курсовых работ *инженерного профиля* должна быть посвящена проектированию основных блоков и узлов медицинских аппаратов и самих медицинских аппаратов, разработке программного обеспечения при реализации аппаратов на микроконтроллерах и включать:

- разработку (электрический расчет, синтез) функциональных электрических схем блоков, узлов, аппаратов;
- моделирование работы электронных схем;
- разработку программ управления блоками устройства;
- конструкторские расчеты отдельных блоков и всего устройства в целом;
- разработку конструкции отдельных блоков и всего устройства.

В курсовых работах данного вида решаются задачи по разработке (усовершенствованию) СМЭ или функциональных частей (блоков, субблоков и т.п.), входящих в их состав, а также разработке устройств обеспечения производства, ремонта и обслуживания СМЭ. Разработка или модернизация конструкций выполняется на уровне эскизного или технического проекта с дальнейшим отображением принятых решений в конструкторской документации (чертежах). Объектами курсовых работ инженерного профиля могут быть:

1 Аппарат для электропунктуры с заданной формой электрического импульса.

2 СВЧ-излучатель с задаваемой диаграммой направленности для аппарата СМВ-терапии.

3 Импульсный дефибрилятор.

4 Магнитотерапевтический аппарат для терапии переменным магнитным полем.

5 Аппарат гальванизации и электрофореза.

6 Инструмент для электрохирургического аппарата.

7 Аппарат франклинизации.

8 Противоболевой электронейростимулятор.

9 Аппарат дарсонвализации.

10 Ультразвуковое стоматологическое устройство.

11 Акустоэлектронное терапевтическое устройство.

12 Аппарат электростимуляции групп мышц с биологической обратной связью.

*Научно-исследовательские* работы должны содержать аналитический материал по решаемой проблеме, теоретический и экспериментальный разделы и должны быть связаны с данной тематикой в рамках госбюджетных и хоздоговорных НИР и заказов предприятий и организаций. Темами курсовых проектов научно-исследовательского профиля могут быть:

– исследование физико-химических процессов, протекающих в организме при проведении физиотерапевтических процедур, и применение полученных результатов для разработки терапевтических аппаратов;

– моделирование и оптимизация воздействия физическими факторами на биоткани человека.

Рекомендуется выполнение курсовой работы научно-исследовательского профиля как продолжение темы НИРС или индивидуального задания по тематике НИР кафедры. Отдельные оригинальные технические решения и разработки, выполненные студентами в рамках курсовой работы, могут «перерастать» в дипломный проект. Допускается выполнение курсовых работ по разработке и изготовлению устройств и приборов для научных исследований или макетов лабораторных работ.

## 2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Техническое задание содержит: тему работы, исходные данные, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, указание сроков выдачи задания и защиты работы, подписанное руководителем и студентом (приложение А). Задание выдается в течение первых двух недель семестра и утверждается заведующим кафедрой.

Исходными данными работы могут быть:

- назначение и объект установки разрабатываемого изделия, его связь с другими частями устройства, внешней средой и человеком-оператором;
- электрические параметры с указанием наиболее характерных данных для проектируемого изделия;
- вид источника электрического питания (сеть, генератор, аккумулятор и т.п.), его напряжение и стабильность;
- эксплуатационные характеристики: режим и характер работы изделия (непрерывный, циклический и т.д.), требования 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);
- требования к основным качественным показателям проектируемого изделия (точности и стабильности выходных параметров, надежности, стоимости и др.);
- 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 состоит из пояснительной записки (ПЗ), содержащей 40–50 страниц технического текста формата А4, необходимых приложений и графической части на 4–5 листах формата А1. Общими требованиями к пояснительной записке 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 курсовой работе комплектуется в следующем порядке: титульный лист (приложение Б), аннотация, задание, содержание, введение, основная часть, заключение, список используемых источников, приложения.

Основную часть ПЗ составляют разделы, в которых даются: обзор литературы по теме и выбор направления проектирования или исследований, изложение общей концепции и основных методов проектирования или исследований,

описание экспериментальной части, применяемого оборудования и техники эксперимента, основные конструкторские и иные расчеты, выполненные в работе теоретические и (или) экспериментальные исследования, анализ и обобщение результатов проектирования и исследований.

При описании общей концепции и основных методов исследований дается теоретическое обоснование предлагаемых методов, алгоритмов решения задач, излагается их суть, дается обоснование выбора принятого направления исследования. Излагаются принципы действия и характеристики разработанной аппаратуры, оценки погрешностей измерений.

В разделах ПЗ полно и аргументированно излагается собственная разработка или исследование студента с выявлением того нового, что он вносит в развитие проблемы (задачи). Автор работы 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 и т.д. По каждому разделу пояснительной записки следует делать выводы.

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

Структура и содержание материала ПЗ определяются профилем работы, который, напомним, может быть инженерным, научно-исследовательским и др.

При *инженерном профиле* работы ПЗ включает:

*Введение.* В этом разделе необходимо отразить актуальность темы, оценить современное состояние решаемой технической задачи, показать перспективные пути ее решения.

*Обзор современных методов и аппаратов лечения заболеваний.* Здесь следует по литературным и патентным источникам рассмотреть современные медицинские методы, методики и аппараты, реализованные на их основе, для лечения заболеваний посредством воздействия тех или иных физических факторов на пациента. Отразить достоинства и недостатки уже имеющихся инженерных решений, перспективы применения новых процессов и оборудования.

В обзоре литературы следует дать краткое изложение основных этапов в развитии научной мысли по рассматриваемой проблеме. Сжато, критически осветив литературу, студент должен назвать те вопросы, которые остались неразрешенными, и, таким образом, определить свое место в решении проблемы. Желательно закончить обзор кратким резюме о необходимости проведения исследований в данной области или проектирования устройства, определить предмет своего исследования или проектирования.

*Выбор структурной схемы.* При проектировании структурной схемы системы или устройства необходимо руководствоваться рядом стандартных технических решений, определяющих порядок организации и взаимодействия блоков и узлов между собой и с внешними устройствами. Основой для разработки

структурной схемы системы (устройства) являются формализованное описание работы устройства или алгоритм работы устройства, протоколы передачи данных, алгоритм обработки сигналов и т.д. На основании этого и с учетом принципов реализации и применения различных классов устройств следует выбирать реализацию блоков (генераторы, регистры, источники тока и др.) и взаимосвязь между ними.

Большинство современных СМЭ построено по магистрально-модульному принципу организации, при котором отдельные блоки формируются в законченные модули с конкретными функциями, которые объединяются в необходимые конфигурации с помощью линий связи. В основе магистрально-модульной организации системы лежит максимально высокий уровень стандартизации элементной базы внутренних блоков модулей, компонентов внутримодульных и межмодульных связей, направленный на достижение предельных характеристик, а также системы информационных шин.

*Разработка функциональной электрической схемы аппарата.* Разработка функциональной (принципиальной) схемы СМЭ предполагает электрические расчёты аналоговых схем, датчиков-измерителей и исполнительных устройств, синтез цифровых устройств, расчет элементов БИС, системотехнический синтез устройств управления, синтез микропроцессорных систем управления и обработки биомедицинской информации.

*Разработка алгоритма и программы управления аппаратом.* Данный раздел выполняется, если медицинский аппарат реализуется на основе контроллеров или других вычислительных средств. Необходимо формализовать поставленную задачу и разработать алгоритм работы проектируемого аппарата. Разработать программное обеспечение аппарата с анализом заданных форматов данных, выбором языка программирования, разработкой программного интерфейса, удобного интерфейса пользователя и т.п. Описать работу разработанного программного обеспечения: его установку, алгоритм работы, примеры использования.

*Разработка конструкции устройств.* В данном разделе производится выбор и обоснование комплектующих элементов и материалов конструкции устройства. Рассчитываются основные компоновочные характеристики устройства (коэффициента заполнения по объему), показатели надежности и восстанавливаемости устройства с учетом электрического режима и условий работы элементов. Разрабатываются печатная плата и электронный блок на ее основе с конструкторскими расчетами платы (в САПР), а также конструкция всего устройства в целом с описанием особенностей и условий соблюдения электробезопасности, эргономичности и т.п.

*В заключении* необходимо сделать выводы по результатам работ, оценить характеристики разработанного аппарата, 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 курсовой работы подразделы ПЗ и их содержание могут уточняться руководителем работы.

При выполнении курсовой работы **научно-исследовательского профиля** ПЗ содержит: введение, анализ перспектив различных направлений исследования, разработку схемы и методики проведения исследований, оценку их точности, расчет точности выходных параметров изделия с учетом погрешностей параметров изделий и обоснование метода достижения требуемой точности, составление аналитической модели и моделирующего алгоритма исследуемых процессов с применением ПЭВМ, результаты оптимизации на ПЭВМ математических моделей исследуемых процессов.

Графическая часть курсовой работы **инженерного профиля** включает:

1) электрическую структурную схему устройства; 2) электрическую принципиальную схему устройства; 3) сборочный чертеж устройства и электронного блока; 4) чертеж печатной платы (возможна детализация).

Графическая часть работы **научно-исследовательского профиля** включает: 1) структурную схему исследований; 2) сборочный чертеж приспособления для проведения исследований; 3) графики полученных экспериментальных зависимостей; 4) схему алгоритма обработки экспериментальных данных на ЭВМ; 5) графики, модели, таблицы, диаграммы.

## **3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

### **3.1 Особенности эксплуатации средств медицинской электроники**

Электронная лечебная аппаратура (ЭЛА) является разновидностью электрических установок и подпадает под действие соответствующих правил и положений, в частности «Правил устройства электроустановок» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Однако специфика условий эксплуатации ЭЛА вызывает необходимость установления дополнительных, специальных требований электробезопасности. Эти требования так же, как и соответствующие методы испытаний, содержатся в ГОСТ 30324.0-95 (МЭК 601-1-88) «Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности».

Электробезопасность медицинской аппаратуры определяется следующими особенностями ее эксплуатации.

1 Пациенты, которым проводят лечебные процедуры и диагностические исследования, могут иметь ослабленное здоровье, нарушения в деятельности отдельных органов и систем и, как следствие этого, повышенную чувствительность к действию электрического тока. Величины тока, практически безопасные для здорового человека, могут оказаться опасными для больного.

2 Электронные медицинские приборы и аппараты имеют так называемую рабочую часть, представляющую собой совокупность деталей, находящихся в токопроводящем соединении или соприкасающихся с телом пациента (электроды, излучатели, датчики). С помощью рабочей части при применении терапевтических, хирургических электромедицинских аппаратов электрическая энергия в какой-либо форме передается тканям тела пациента; при использовании диагностических электромедицинских приборов с помощью рабочей части воспринимаются биопотенциалы либо измеряются механические, химические и другие параметры органов и тканей, что приводит к непосредственной связи пациента с аппаратурой и, как следствие, к повышенной опасности поражения электрическим током.

3 В ряде лечебных аппаратов электрическая энергия в различной форме, в частности, в виде электрического тока используется для лечебного воздействия на организм. Неправильная эксплуатация таких аппаратов связана с возможностью передозировок, непредвиденными путями прохождения тока и другими опасностями для пациента.

4 Пациент во многих случаях не может реагировать на действие электрического тока так, как это сделал бы здоровый человек, т.к. может быть парализован, находится под наркозом и т.п. Кроме того, кожный покров пациента обрабатывается дезинфицирующим и другими растворами и теряет свои защитные свойства.

5 Условия проведения диагностических и лечебных процедур могут быть самыми различными – от кабинета лечебного учреждения до жилых помещений и открытой местности (при оказании скорой помощи). Различные условия эксплуатации, в частности, наличие в непосредственной близости от пациента за-

земленных предметов, накладывают дополнительные требования к электробезопасности аппаратуры.

С учетом указанной специфики далее излагаются основные требования к электробезопасности ЭЛА.

### **3.2 Защита от прикосновения к частям, находящимся под напряжением**

Одно из основных требований электробезопасности – исключить возможность случайного прикосновения к находящимся под напряжением частям.

Особенностью ЭЛА является то, что требования защиты от прикосновения не распространяются на рабочую часть, например находящиеся под напряжением электроды. Это ограничение, естественно, вытекает из задачи воздействия на пациента электрическим током при лечебных процедурах.

Части ЭЛА, находящиеся под напряжением, не должны оголяться после снятия без помощи инструмента кожухов, крышек, задвижек, а также сменных частей. Исключение делается для предохранителей. Кожухи, крышки, которые закрывают части, находящиеся под напряжением менее 24 В переменного тока или 50 В постоянного тока, могут открываться без применения инструмента, если рабочие части изолированы двойной изоляцией от сетевой цепи.

Значительную опасность может представлять электрическая энергия находящегося в аппарате заряженного конденсатора. В связи с этим должен быть обеспечен автоматический разряд конденсатора после отключения аппарата от сети. Постоянная времени разряда должна быть такой, чтобы за время, необходимое для снятия крышки, корпуса или другой детали, дающей доступ к конденсатору, напряжение на нем упало до величины, не превышающей 50 В.

Особый случай представляет аппарат с сетевым помехоподавляющим фильтром, имеющим конденсатор, который блокирует симметричную составляющую радиопомех. Такой конденсатор, имеющий обычно значительную емкость, подключен параллельно сетевым проводам. Сразу после вынимания вилки сетевого шнура из штепсельной розетки конденсатор может оказаться заряженным до амплитуды сетевого напряжения. Одновременное касание обоих штифтов вилки представляет в таком случае значительную опасность. Постоянная времени разряда этого конденсатора должна быть такой, чтобы через 1 с после того, как вилка вынута из розетки, напряжение на ней не превышало 50 В. Обеспечение достаточной скорости разряда конденсаторов производится параллельным подключением разрядных резисторов.

При наличии в аппарате частей, находящихся под напряжением, превышающим 1000 В переменного или 1500 В постоянного тока, на этих частях или рядом с ними должен быть знак высокого напряжения – красная стрела молнии. Рекомендуется на кожухе (крышке) таких аппаратов помещать предупредительную надпись: «Перед снятием кожуха отсоединить аппарат от сети».

При наличии в аппарате высоких напряжений в ряде случаев находят применение блокировки, автоматически отключающие аппарат от сети после снятия

кожуха или крышки, закрывающих электроопасные части, даже с помощью инструмента. Следует отметить, что подобным блокировочным устройствам присущ ряд недостатков с точки зрения надежности. Кроме того, при ремонте аппарата для его включения без кожуха блокировку приходится закорачивать, и поскольку это на работе аппарата никак не сказывается, они зачастую так и остаются закороченными. Учитывая это, такие блокировочные устройства применяются крайне редко.

Существенно, что при рассмотрении требований к защите от прикосновения к частям, находящимся под напряжением, речь идет о случайном касании, т.е. о касании без посредства какого-либо предмета. Если же в отверстие в кожухе аппарата вставляется какой-нибудь металлический предмет, то это уже не случайное, а намеренное действие, так же, как и отвинчивание винтов, крепящих крышку прибора или аппарата с помощью отвертки. В этом случае, как уже указывалось, не предъявляются требования к защите от случайного прикосновения.

### **3.3 Защита от недопустимо большого напряжения прикосновения**

Для обеспечения электробезопасности недостаточно просто закрыть находящиеся под напряжением части аппаратуры. Необходимо рассмотреть, какова надежность их изоляции от доступных для прикосновения частей. Обычно части под напряжением изолируются с помощью так называемой основной изоляции, которая может также обеспечивать нормальное функционирование электрических цепей изделия.

Надежность основной изоляции достаточна для обеспечения работоспособности изделия, но недостаточна для обеспечения его электробезопасности. Необходимо учитывать возможность нарушения основной изоляции вследствие старения, механических поломок и т.п.

Рассмотрим, какие же опасности могут возникнуть при нарушении основной изоляции. Если нарушится изоляция цепей, не относящихся к питающей сети, то это может вызвать нарушение работоспособности аппаратуры, но, как правило, не будет опасным для обслуживающего персонала. Это объясняется тем, что корпус изделия может принять при пробое такой изоляции потенциал одной точки вторичной цепи, но при этом не изменится его потенциал относительно земли (при вторичной цепи, соединенной с корпусом, такой пробой приведет к короткому замыканию цепи). Если же происходит пробой изоляции сетевой цепи от корпуса, то на нем появляется напряжение относительно земли и, как следствие, напряжение прикосновения.

Для дополнительной защиты от напряжения прикосновения применяют различные способы. В зависимости от способа защиты электромедицинские приборы и аппараты с внешним питанием делятся на четыре класса.

Классы 0I и I предусматривают защитное заземление или зануление, класс II – защитную изоляцию, класс III – питание от цепи низкого напряжения. Класс 0, при котором нет каких-либо дополнительных мер защиты от напряжения при прикосновении, кроме основной изоляции, в изделиях медицинской техники недопустим.

Сущность защиты по классам 0I и I заключается в максимальном уменьшении напряжения прикосновения, возникающего при нарушении основной изоляции сетевой цепи от корпуса – это защитное заземление в цепях с изолированной нейтралью, либо в обеспечении срабатывания при этом предохранителей или автоматических выключателей, отключающих аппарат от сети, – это зануление в сетях с заземленной нейтралью.

Защитное заземление осуществляется с помощью заземляющего устройства, состоящего из заземлителей и заземляющих проводников. Соответственно общее сопротивление заземляющего устройства складывается из сопротивления растеканию заземлителя (сопротивление, оказываемое землей току, растекающемуся с заземлителя) и сопротивления заземляющих проводников. Заземлители подразделяются на естественные и искусственные. В качестве естественных заземлителей могут быть использованы металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий, проложенные в земле металлические водопроводные трубы и другие металлические сооружения, имеющие надежное соединение с землей. Не допускается использование для этой цели сетей центрального отопления и канализации, трубопроводов горючих жидкостей, а также горючих или взрывчатых газов, заземлителей молниеотводов. Если естественные заземлители отсутствуют или если их сопротивление растеканию превышает 4 Ом, то необходимо устройство искусственных заземлителей.

В качестве искусственных заземлителей следует применять горизонтально или вертикально погруженные в грунт стальные трубы, полосы, стержни. Длина каждого заземлителя обычно равна 2–3 м, глубина заложения не менее 0,5 м. Стальные трубы, полосы должны быть предварительно очищены от краски, масла и, если грунт может вызвать усиленную коррозию, оцинкованы или омеднены. Для снижения сопротивления заземления в плохо проводящие грунты (песчаные, скалистые) добавляют поваренную соль, графит и т.п. К заземлителю с помощью сварки внахлестку присоединяется не менее чем двумя проводниками магистраль заземления. Каждый заземляемый прибор или аппарат должен быть присоединен к магистрали заземления отдельным заземляющим проводником. Не допускается последовательное включение в заземляющий проводник нескольких изделий. Заземляющие проводники должны быть защищены от механических и химических воздействий. Открыто проложенные голые проводники, включая магистраль заземления, должны быть окрашены в черный цвет либо иметь в местах присоединений не менее двух полос черного цвета на расстоянии 150 мм друг от друга.

Запрещается использовать в качестве заземляющих проводников проходящие в здании водопроводные трубы, сети центрального отопления, канализации. В заземляющих проводах не должны устанавливаться выключатели, предохранители, разъемы.

Наименьшие сечения стальных заземлителей и заземляющих проводников зависят от места заземления и типа сечения (круглое, прямоугольное, уголок) и лежат в пределах от 24 до 48 мм<sup>2</sup>. Медные заземляющие одножильные провод-

ники без изоляции должны иметь сечение не менее 4 мм<sup>2</sup>, а медные изолированные многожильные проводники не менее 1,5 мм<sup>2</sup>.

Все сказанное выше о требованиях к защитному заземлению относится и к зануляющим проводникам и повторному заземляющему устройству.

Все изделия с защитным заземлением (занулением), имеющие постоянное присоединение к питающей сети (т. е. отключаемые только с помощью инструмента), относятся к классу I. Присоединение к таким изделиям провода защитного заземления производится с помощью инструмента к установленному на корпусе резьбовому зажиму. Такое присоединение производится при монтаже прибора или аппарата.

У переносных изделий присоединение сети производится с помощью штепсельного соединения. В зависимости от конструкции штепсельного соединения переносные приборы и аппараты с защитным заземлением (занулением) могут быть выполнены по классу 0I или I.

У изделий класса 0I имеется наружный зажим защитного заземления, к которому до включения вилки в сетевую розетку может быть присоединен отдельный провод, другой конец которого соединяется с заземляющим или зануляющим устройством. В отдельных случаях в качестве защитного провода может использоваться третья жила несъемного сетевого шнура, присоединенная к внутреннему зажиму защитного заземления изделия. На конце шнура эта жила ответвляется от шнура и заканчивается кабельным наконечником, подключаемым к зажиму заземления (зануления) на щите, от которого питается аппарат.

Вилки у изделий класса 0I имеют два штыря и могут включаться в обычную сетевую розетку без заземляющих контактов.

Переносные изделия класса I присоединяются к сети с помощью трехжильного сетевого шнура, имеющего вилку с заземляющими контактами. Шнур третьей жилой соединяется с зажимом защитного заземления внутри аппарата. Соответственно сетевая розетка имеет заземляющие контакты, соединенные с заземляющим (зануляющим) устройством.

Приборы и аппараты класса I имеют автоматическую защиту, независимо от внимательности и добросовестности обслуживающего персонала, и в этом их преимущество перед аппаратами класса 0I. В ряде стран применение в медицине изделий класса 0I не допускается.

Основное преимущество классов защиты 0I и I – это простота и дешевизна их выполнения. Дополнительно к основной изоляции аппарата требуется предусмотреть только возможность присоединения защитного провода.

Однако защита по классу I и особенно 0I имеет ряд недостатков. При применении аппаратуры класса 0I обслуживающий персонал должен обеспечить во всех случаях защитное заземление. В условиях специализированного кабинета медицинского учреждения, имеющего заземляющее или зануляющее устройство, это обычно не представляет затруднений, но при проведении лечебных процедур или исследования в больничной палате или на дому у больного – зачастую невыполнимо. Отдельный провод мешает, всегда может быть задет и порван.

При применении приборов и аппаратов класса I велика опасность перепутывания мест присоединения фазного и заземляющего (зануляющего) проводов при установке и особенно ремонте сетевых розеток. Опасен также обрыв защитной жилы сетевого шнура, что усугубляется тем, что эта неисправность без специальной проверки не может быть обнаружена.

При нарушении защитного заземления или зануления даже при исправной изоляции возникает опасность поражения током утечки, протекающим в контуре «сетевая цепь–корпус–человек–земля». Величина тока утечки на корпус определяется сопротивлением изоляции и распределений емкостью между сетевой цепью и корпусом, а также емкостью помехоподавляющих конденсаторов сетевого фильтра. Обеспечение допустимой величины тока утечки связано, в основном, с уменьшением емкостей сетевых фильтров. При напряжении 220 В емкость помехоподавляющих конденсаторов, установленных между каждой фазой и корпусом, не должна превышать 5000 пФ. Такое ограничение емкости фильтра связано в ряде случаев со значительными трудностями защиты от излучения радиопомех, распространяющихся по сети.

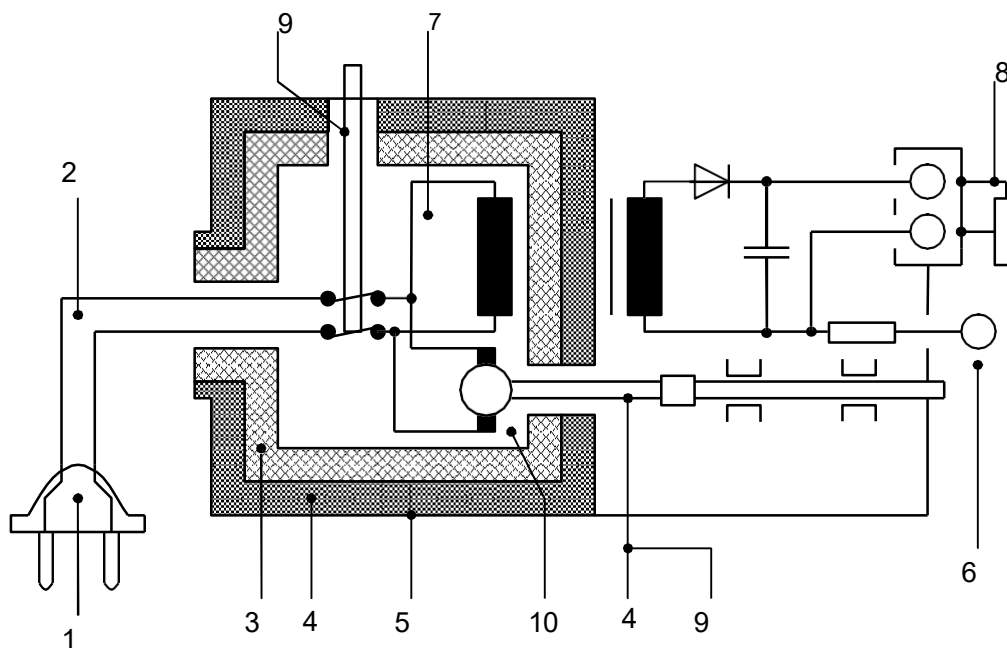
Помимо перечисленных недостатков весьма существенно, что при неблагоприятных обстоятельствах применение аппаратуры класса 0I или I может создать новые опасности. При эксплуатации аппаратуры на дому у пациента может оказаться поблизости поврежденный бытовой электроприбор, например, настольная лампа, сетевые провода которой замкнулись на доступные металлические части. Такое повреждение может не обнаруживаться из-за хорошо изолированного от земли пола. При установке же заземленного прибора или аппарата резко возрастает опасность поражения медицинского персонала из-за возможности одновременного касания поврежденной лампы и заземленного корпуса (еще более велика опасность касания лампы для больного, на которого наложен заземленный электрод электрокардиографа).

Несмотря на указанные выше и некоторые другие недостатки, защита классов 0I и I в связи с ее дешевизной и простотой широко применяется при производстве медицинской аппаратуры.

Одним из важных путей по повышению электробезопасности медицинской аппаратуры является комплекс мероприятий по созданию аппаратов класса II.

Сущность защиты по классу II заключается в повышении надежности изоляции частей, доступных для прикосновения, от частей, находящихся под напряжением (в первую очередь сетевой цепи), т.е. в применении защитной изоляции (рисунок 3.1).

Защитная изоляция обеспечивает электробезопасность дополнительно к основной изоляции при ее нарушении. Конструктивно защитная изоляция, как правило, выполняется таким образом, чтобы имелась возможность ее отдельного от основной изоляции испытания. В совокупности образуется так называемая двойная изоляция. Иногда невозможно раздельное выполнение основной и защитной изоляции, например, для колодок, выключателей и т.п. В этом случае допускается применение усиленной изоляции, эквивалентной по своим электрическим и механическим свойствам двойной изоляции.



1 – сетевая вилка; 2 – шнур питания; 3 – основная изоляция; 4 – дополнительная изоляция; 5 – корпус; 6 – зажим рабочего заземления; 7 – сетевая часть; 8 – рабочая часть; 9 – усиленная изоляция; 10 – электродвигатель с доступным ротором

Рисунок 3.1 – Пример изделия класса II с металлическим корпусом

Двойная изоляция может быть выполнена различными способами. Первый, наиболее надежный, это применение изолирующей оболочки, которая делает невозможным прикосновение не только к частям, находящимся под напряжением, но и к металлическим нетоковедущим частям прибора или аппарата, имеющим только основную изоляцию. Пример: аппарат с корпусом из изоляционного материала. Шасси хотя и находятся под напряжением, но недоступны для прикосновения.

Второй способ – это применение промежуточной изоляции, представляющей собой изолирующие вставки, прокладки и т.п., которые отделяют доступные для прикосновения металлические части от металлических нетоковедущих частей, имеющих только основную изоляцию. Пример: аппарат имеет металлический незаземленный корпус; шасси и другие металлические части, имеющие с ним токопроводящие соединения, изолированы от сетевой цепи основной изоляцией, а от корпуса аппарата – промежуточной изоляцией.

Выполнение аппаратуры по классу II обеспечивает наибольшие надежность и удобство в эксплуатации, особенно для переносных изделий. В этом случае о заземлении заботиться не надо, включать прибор или аппарат можно в любую сетевую розетку, для чего он снабжается сетевым шнуром с вилкой, входящей как в обычную розетку, так и в розетку с защитными контактами.

Ограниченное применение изделий класса II объясняется рядом трудностей конструктивного характера. Применение пластмассового корпуса ограничено аппаратами небольших габаритов, а защитная изоляция сетевой цепи приводит к увеличению веса и габаритов трансформатора, усложнению технологии его производства.

Защита от излучения радиопомех аппаратов класса II усложнена. Это относится как к изделиям с пластмассовым корпусом, так и с металлическим из-за недопустимости подключения помехоподавляющих конденсаторов между сетевыми проводами и металлическим корпусом. Пластмассовые корпуса должны иметь металлизированное покрытие с внутренней стороны.

Весьма существенно отсутствие типовых деталей, имеющих двойную или усиленную изоляцию, в связи с чем силовой трансформатор, узел переключения напряжения сети и ряд других узлов и деталей приходится разрабатывать и изготавливать как оригинальные.

Несмотря на перечисленные недостатки и трудности изготовления аппаратуры класса II, защита от напряжения прикосновения с помощью защитной изоляции в большинстве случаев является более прогрессивным методом. В первую очередь это относится к переносным и портативным изделиям с рабочей частью, находящейся в токопроводящем соединении с телом больного (приборы для измерения биопотенциалов, низкочастотная физиотерапевтическая аппаратура и др.), которые должны быть рассчитаны на самые разнообразные условия эксплуатации.

Сущность защиты по классу III заключается в питании аппаратуры от цепи низкого напряжения не более 24 В переменного или 50 В постоянного тока. Даже при пробое сетевой цепи на корпус аппарата класса III напряжение прикосновения не превысит практически безопасной величины. Надо подчеркнуть, что смысл понятия «цепь низкого напряжения» не ограничивается величиной напряжения. Если с помощью автотрансформатора, подключенного к сети, получить 24 В, то это не будет цепью низкого напряжения с точки зрения техники безопасности. Обязательное требование к цепи низкого напряжения – отделение ее от обычной сети и всех других цепей, имеющих более высокое напряжение. Поэтому изделия, выполненные по классу III, питаются от так называемого защитного понижающего трансформатора, к конструкции которого предъявляются весьма высокие требования. Поскольку нарушение изоляции между обмотками этого трансформатора ведет к попаданию сетевого напряжения на незащищенный прибор или аппарат, то прочность этой изоляции испытывается напряжением 4 кВ. Конструкция трансформатора должна предусматривать пространственное разделение обмоток, т.е. либо размещение их на двух каркасах, либо на общем каркасе с перегородкой. Перегородка должна быть не вставленная, а монолитная. Возможно также применение общего каркаса без перегородки, но при этом должны быть приняты меры, исключающие возможность западания витков вторичной обмотки к виткам сетевой обмотки (межслойная изоляция с загибами по краям), и трансформатор должен быть подвергнут вакуумной пропитке, желательны эпоксидными компаундами. Защитный трансформатор должен иметь защиту от короткого замыкания. Защита может быть обеспечена либо с помощью предохранителя, либо за счет большого внутреннего сопротивления трансформатора.

Защита по классу III применяется в медицинском приборостроении крайне редко. Малое распространение изделий класса III объясняется рядом недостат-

ков этого метода защиты: необходим отдельный защитный трансформатор, что неудобно при переносной аппаратуре; из-за низкого напряжения приходится иметь дело с большими токами.

Более подробно общие требования электробезопасности медицинской техники с рисунками и схемами аппаратов приведены в ГОСТ 30324.0-95.

### **3.4 Особенности обеспечения электробезопасности различных видов электро медицинской аппаратуры**

Различия в требованиях к электробезопасности отдельных видов изделий медицинской техники и к методам ее обеспечения связаны, в основном, с различной степенью связи изделий с пациентом и, как следствие этого, с различной опасностью для него.

ГОСТ 30324.0-95 предусматривает деление всех изделий на 4 типа. Изделия типа Н имеют нормальную степень защиты, типа В – повышенную степень защиты, типа ВF – повышенную степень защиты и изолированную рабочую часть, типа CF – наивысшую степень защиты и изолированную рабочую часть. К типу Н относятся изделия без рабочей части (лабораторные приборы, стерилизаторы и т.п.).

К типу В относятся приборы и аппараты с рабочей частью, которая может иметь электрический контакт с телом пациента, за исключением непосредственного контакта с сердцем (электрокардиографы, ультразвуковые приборы и аппараты и др.). К типу ВF относятся приборы и аппараты, отличающиеся от типа В наличием изолированной от корпуса рабочей части (низкочастотная электролечебная аппаратура, стимуляторы и др.). Наконец, к типу CF относятся приборы и аппараты, рабочая часть которых имеет непосредственный контакт с сердцем (внешние электрокардиостимуляторы, измерители давления в полости сердца и др.).

При обеспечении электробезопасности изделий типа Н, как правило, не возникает каких-либо дополнительных трудностей, помимо обеспечения основной изоляции сетевой цепи от корпуса и дополнительной защиты в соответствии с классом защиты изделия.

При наличии рабочей части возникает задача отделения рабочей части от сетевой цепи и от других частей, не относящихся к ней и находящихся под напряжением.

Поскольку, несмотря на указания в правилах проведения процедур, пациент может коснуться как корпуса аппарата, так и другого заземленного предмета, – наибольшую опасность представляет его поражение низкочастотным напряжением питающей сети. В связи с этим необходимо надежное разделение сетевой цепи от цепей с рабочей частью (пациентом). Это разделение должно обеспечиваться и при таких аварийных ситуациях, как пробой транзисторов, обрыв проводов и т.п. Способом, гарантирующим надежное разделение этих цепей, является использование сетевого трансформатора с электрически, а желательнее и пространственно разделенными обмотками. Если рабочая часть имеет токопроводящее соединение с телом пациента и изолирована от корпуса, как это имеет место в низкочастотных физиотерапевтических аппаратах (изде-

лия типа ВF), то между сетевой цепью и рабочей частью должна иметься двойная или усиленная изоляция. Грубейшая, абсолютно недопустимая ошибка – связь источника выходного напряжения с питающей сетью через автотрансформатор или потенциометр.

Особое значение имеет оптоэлектронная развязка рабочего инструмента и силовой части электронной аппаратуры в медицине (рисунок 3.2). Так как инструменты обычно прикрепляются к телу человека, то необходима защита их от высокого напряжения, имеющегося в ЭЛА.

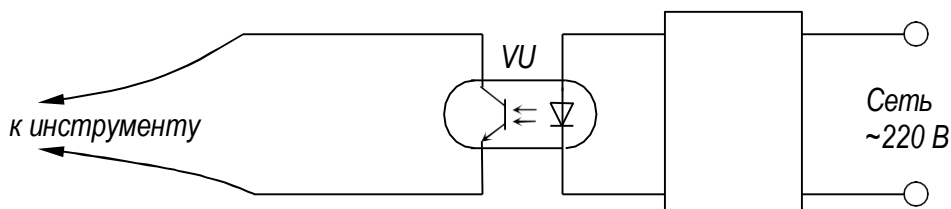


Рисунок 3.2 – Схема связи рабочего инструмента с силовой частью аппарата

Изоляция выходной цепи от корпуса – важное требование электробезопасности, которое предъявляется к физиотерапевтической аппаратуре, воздействующей на пациента низкочастотным током. При отсутствии такой изоляции касание пациентом корпуса аппарата непосредственно либо через лицо, проводящее процедуру, приведет к появлению непредвиденных опасных для пациента путей тока.

Поскольку в указанных выше аппаратах пациент включается, как правило, в виде нагрузки в коллекторную или эмиттерную цепь выходного транзистора, то необходимо полностью исключить возможность соединения с корпусом аппарата цепей источника питания этого транзистора, так как такое соединение приведет к появлению напряжения между электродами и корпусом (а также и землей, при применении аппарата класса 0I или I).

Наилучшим решением в этом случае является корпус из изоляционного материала. Если корпус металлический, то должна быть очень тщательно выполнена изоляция от него всех деталей схемы, и в первую очередь, деталей управления.

В терапевтических аппаратах для воздействия высокочастотными электрическими, магнитными полями (УВЧ-терапия, индуктотермия), рабочие части которых (электроды, индукторы) не заземлены, должна быть исключена возможность попадания в выходной контур напряжения источника питания генераторной лампы, один полюс которого соединен с корпусом аппарата. Такое соединение представляет большую опасность, так как металлические детали рабочей части оказываются при этом под высоким напряжением относительно корпуса, а изоляция их на такое напряжение, как правило, не рассчитана. Несмотря на то, что выходной контур не имеет гальванической связи с контуром генератора, принципиальная возможность замыкания между собой этих цепей при каких-либо поломках и смещениях деталей имеется. Наилучшим решением является соединение выходной цепи через высокочастотный дроссель с корпусом аппарата. Если это невозможно, то необходимо разделение выходной цепи

от контура генератора промежуточными цепями, соединенными с корпусом, например экранированным витком связи.

В приборах для наблюдения и регистрации биопотенциалов сердца, мышц одна из важных задач – надежное ограничение тока, протекающего в цепи между электродами, наложенными на пациента. Это ограничение должно быть эффективным не только в нормальных условиях, но и при возможных нарушениях в приборе. Наиболее вероятно протекание непредвиденных токов в цепях между каждым из незаземленных и заземленным электродами. Ток в цепи электродов ограничивается транзистором входного каскада, резисторами в цепи выпрямителя, питающего этот каскад, а также резисторами во входной цепи. Поскольку транзисторы могут оказаться пробитыми, а резисторы в цепи выпрямителя не могут иметь достаточно большого сопротивления, то защита обеспечивается практически только резисторами во входной цепи. Эти резисторы должны ограничивать ток через электроды при аварийной ситуации до величины, не превышающей 100 мкА. Резисторы должны монтироваться как можно ближе к входу прибора, чтобы исключить возможность непосредственного соединения проводов пациента с находящимися под напряжением частями.

Особенно высокие требования предъявляются к отделению от находящихся под напряжением частей и от корпуса рабочей части приборов и аппаратов типа СФ. Как уже указывалось, эти приборы и аппараты предназначены для непосредственного контактирования с сердцем. Поскольку при таком контактировании пороговый ток, вызывающий фибрилляцию, составляет 50–100 мкА, ток утечки через рабочую часть изделия типа СФ не должен превышать 10 мкА. Следует учитывать возможность одновременного применения нескольких приборов и аппаратов. Если, например, при внешней электростимуляции сердца производится снятие электрокардиограммы, то ток утечки электрокардиографа может пройти через введенный в сердце электрод электрокардиостимулятора. Чтобы этого не произошло, должна быть обеспечена надежная изоляция рабочей части стимулятора от земли. Для этого недостаточно изолировать рабочую часть от корпуса. Необходимо также защитить изоляцией наружные детали рабочей части, чтобы при случайном прикосновении к ним лица, проводящего процедуру, не возникло токопроводящего пути на землю.

При рассмотрении выходных схем различного рода низкочастотных стимуляторов следует иметь в виду возможность одновременного применения двух и более аппаратов. Наиболее часто вторым аппаратом является электрокардиограф, у которого один электрод заземлен для уменьшения наводок. Заземляющее устройство для совместно работающих аппаратов должно быть одно и то же, и питаться эти аппараты должны от одной фазы сети. Особое внимание следует уделить изоляции выходной цепи низкочастотных терапевтических аппаратов от сетевой цепи, корпуса аппарата и земли.

Кроме опасностей, связанных с нарушениями в аппаратуре, существуют опасности, связанные с неправильной ее эксплуатацией. Всю ответственность за выполнение правил эксплуатации при проведении лечебной процедуры или диагностического исследования несет обслуживающий медперсонал. Однако при проектировании аппаратуры должны быть приняты все меры, чтобы рациональной

схемой и конструкцией, применением средств автоматики свести эти опасности к минимуму.

Одним из важных факторов, определяющих безопасность пациента при возможных нарушениях со стороны медперсонала, является соотношение между максимальной мощностью (током, напряжением) терапевтического аппарата и ее величиной, используемой при проведении процедуры. Это соотношение должно быть минимальным. Так, например, неправильно проводить процедуру гальванизации слизистой рта при токе не более нескольких миллиампер с помощью аппарата, рассчитанного на максимальный ток 50 мА. При случайных поворотах ручки регулятора тока или обрыве выходного потенциометра ток пациента может значительно превысить заданную величину. В связи с этим создаются специализированные аппараты, предназначенные для более узкого круга лечебных процедур, а также вводится переключение на режимы работы, отличающиеся максимальной выходной мощностью. Обязательной является блокировка, исключающая возможность переключения режима работы при введенном регуляторе интенсивности.

Для исключения передозировок по времени в физиотерапевтических аппаратах применяются процедурные часы со звуковым или световым сигналом, встроенные таймеры.

В аппаратах с широкими пределами регулирования выходной мощности (тока, напряжения) должны быть приняты меры, чтобы независимо от желания обслуживающего персонала при начале процедуры выходная мощность была минимальной. Наиболее просто эта задача решается совмещением ручек выключателя сети и регулятора интенсивности, так чтобы при включении и выключении аппарата интенсивность была минимальной.

В аппаратах для электрохирургии весьма важно правильное наложение пассивного электрода на пациента и надежное соединение его с аппаратом. Для контроля за соединением электрода в аппаратах с выходной мощностью более 50 Вт для этой цели используется двухжильный провод, по которому протекает ток низкого напряжения, управляющий исполнительным реле. При обрыве одного из проводов или нарушении контакта проводов с аппаратом реле срабатывает и выключает генератор высокой частоты.

Важную роль в обеспечении правильности проведения процедуры играют элементы сигнализации, указывающие на включение той или иной цепи аппарата. Световая сигнализация о включении аппарата в сеть является обязательной. Исключение делается для аппаратов, включение которых в сеть легко обнаруживается по шуму вентилятора или другого узла.

Как следует из вышеприведенных примеров, использование средств автоматики позволяет значительно снизить опасность для пациента, которая может быть вызвана как нарушениями в аппарате, так и небрежными или неправильными действиями обслуживающего медперсонала.

## 4 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ. ВЫБОР СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

### 4.1 Классификация электротерапевтической аппаратуры

Чтобы оценить место ЭЛА в общей системе технических средств, используемых при диагностике, терапии и обслуживании пациента, необходимо рассмотреть классификацию таких средств, объединенных под общим названием «Медицинская техника» (рисунок 4.1).

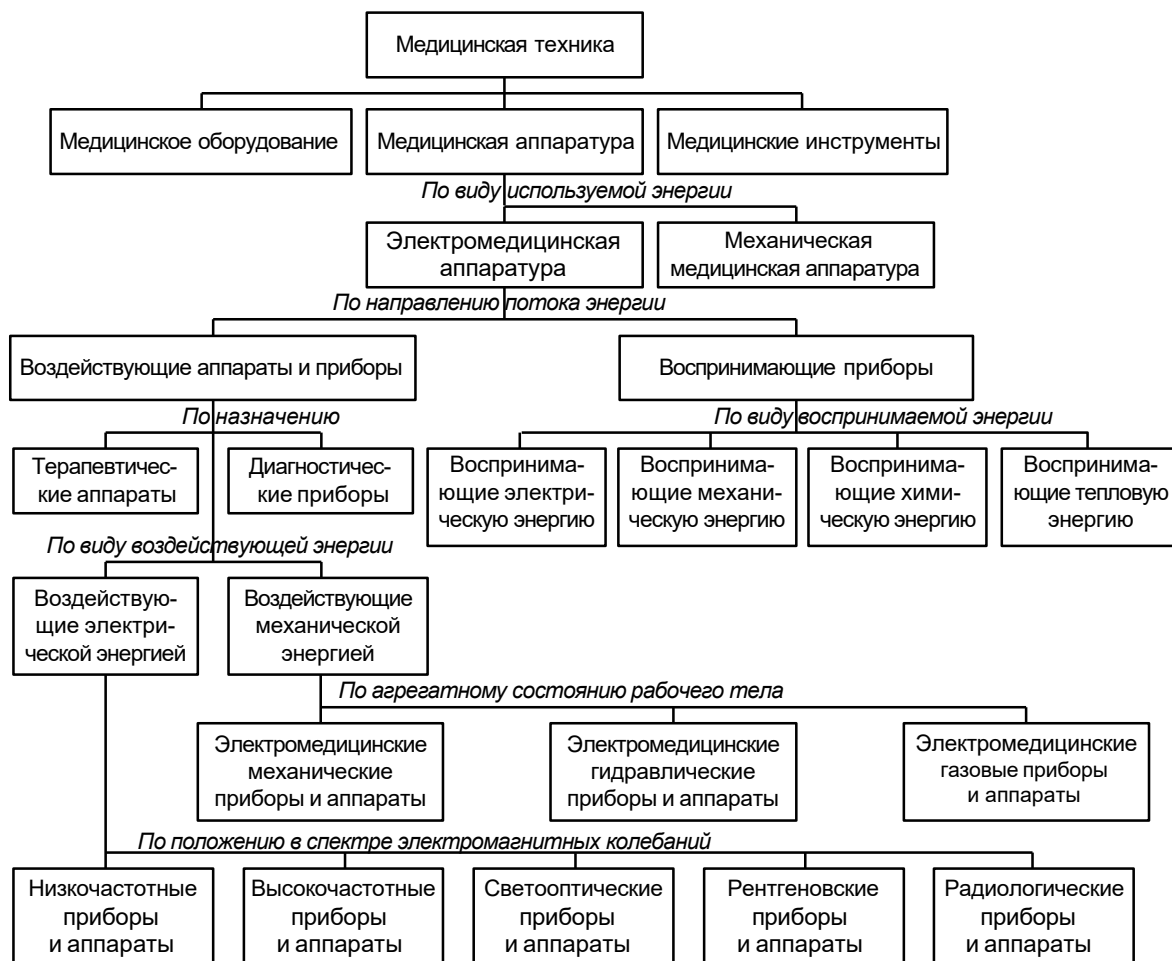


Рисунок 4.1 – Общая классификация медицинской техники

С точки зрения задачи, решаемой в медицинском технологическом процессе, всю медицинскую технику можно разбить на три большие группы: аппаратуру, инструменты и оборудование.

Аппаратура в той или иной степени обеспечивает самостоятельный, автоматизированный процесс взаимодействия с пациентом; инструмент действует на пациента в сочетании с рукой человека, являясь как бы ее продолжением; оборудование – вспомогательные устройства для обслуживания пациента и обеспечения медицинского технологического процесса.

Медицинская аппаратура – наиболее сложная, интенсивно развивающаяся область медицинской техники. Большую часть медицинской аппаратуры составляют электромедицинские приборы и аппараты, представляющие собой

электротехнические или электронные устройства, которые основаны на использовании электрической энергии.

Имеется также аппаратура, использующая механическую энергию: твердого тела (обычно ее называют просто механической) – это аппараты для вытяжения костей, для механотерапии и др.; жидкости (гидравлическая) – это водолечебные установки; газа (газовая) – наркозные аппараты, аппараты для искусственной вентиляции легких и др.

В процессе функционирования аппаратура оказывается определенным образом связанной с пациентом. При этом в системе аппаратура – пациент устанавливается движение энергии от аппаратуры к пациенту или наоборот. В зависимости от направления потока энергии всю электромедицинскую аппаратуру можно разделить на две группы: аппаратуру воздействующую и аппаратуру воспринимающую.

В то же время электромедицинская аппаратура по функциональному признаку, т.е. в зависимости от целей, для которых она используется, может быть разделена на терапевтическую и диагностическую. Изделия терапевтической аппаратуры принято называть аппаратами, изделия диагностической аппаратуры – приборами.

Терапевтические аппараты воздействуют на пациента с целью вызвать желаемые сдвиги в его организме – перестройку патологического процесса в сторону нормализации. Хирургические аппараты, являющиеся частью терапевтических, предназначены для осуществления радикальных изменений в структуре органов и биотканях. Таким образом, терапевтические аппараты являются воздействующими.

Диагностические приборы предназначены для исследования характеристик живого организма с тем, чтобы установить возможные отклонения от нормы и вызвавшие их причины. Диагностические приборы могут быть как воздействующими, так и воспринимающими.

Воздействующие диагностические приборы дают необходимую информацию по реакции пациента на определенное воздействие (например диагностические электростимуляторы) либо по внесенному телом пациента возмущению в поток энергии (рентгеновское просвечивание, ультразвуковая эхография и т.п.). При диагностике воздействующими приборами стремятся, как правило, снизить до минимально возможного уровня энергию воздействия, чтобы исключить побочные вредные для организма эффекты. Предел такому снижению кладет чувствительность организма к воздействию либо чувствительность метода регистрации внесенных возмущений.

Воспринимающие диагностические приборы дают информацию о различных процессах в организме, генерируемых тканями и органами биопотенциалах, звуковых тонах сердца, температуре тела и др. Воспринимающие диагностические приборы аналогично любым другим измерительным приборам должны оказывать минимальное влияние на исследуемый процесс и передавать информацию с наименьшими искажениями.

Воздействующие терапевтические аппараты и диагностические приборы в зависимости от вида энергии, направленной на пациента, делятся на воздействующие электрической энергией и воздействующие механической энергией (по сложившейся терминологии многие диагностические воздействующие приборы принято называть аппаратами, например, рентгеновские, для электродиагностики и др.).

Аппаратуру, использующую для воздействия механическую энергию, можно разделить по агрегатному состоянию рабочего тела, т. е. тела, непосредственно соприкасающегося с пациентом. Рабочее тело может быть твердым, жидким или газообразным. Соответственно можно выделить электромедицинские механические, гидравлические и газовые аппараты и приборы. К первым относятся ультразвуковые терапевтические аппараты и диагностические приборы, аудиометры, вибромассажные аппараты и др., ко вторым – аэрозольные аппараты с центробежными и ультразвуковыми распылителями, к третьим – аппараты для искусственной вентиляции легких с электроприводом.

Аппаратура, воздействующая электрической энергией соответственно используемой части спектра электромагнитных колебаний, включает в себя аппараты и приборы низкочастотные, высокочастотные, светооптические, рентгеновские и радиологические.

При проектировании терапевтических аппаратов фактором, определяющим конструктивное и схемотехническое исполнение, является вид физического воздействия. В зависимости от видов используемой энергии лечебные физические факторы и соответствующие им методы можно разделить на следующие группы.

**Первая группа** – постоянный электрический ток низкого напряжения (гальванизация, лекарственный электрофорез).

**Вторая группа** – импульсные токи низкого напряжения (электросон, диадинамотерапия, амплипульстерапия, интерференцтерапия, флюктуоризация, электродиагностика, электростимуляция).

**Третья группа** – электрические токи высокого напряжения (диатермия, ультратонотерапия, местная дарсонвализация).

**Четвертая группа** – электрические, магнитные и электромагнитные поля различных характеристик (франклинизация, магнитотерапия, индуктотермия, ультравысокочастотная терапия, микроволновая терапия).

**Пятая группа** – электромагнитные колебания оптического (светового) диапазона (терапия инфракрасным, видимым и ультрафиолетовым излучением, лазерная терапия).

**Шестая группа** – механические колебания среды (массаж, ультразвуковая терапия, лекарственный фонофорез, вибротерапия).

**Седьмая группа** – измененная или особая воздушная среда (ингаляционная или аэрозольтерапия, электроаэрозольтерапия, баротерапия, аэроионотерапия и др.).

**Восьмая группа** – пресная вода, природные минеральные воды и их искусственные аналоги.

**Девятая группа** – тепло (теплотерапия) и холод (криотерапия, гипотермия).

Особую группу составляют сочетанные методы, позволяющие использовать два физических фактора и более. С каждым годом они получают все большее распространение в медицине.

Наиболее широкое распространение получили терапевтические низкочастотные и высокочастотные аппараты. Низкочастотные терапевтические аппараты (рисунок 4.2) делятся на две группы в зависимости от формы воздействующей электрической энергии (ток, поле). Среди аппаратов, воздействующих током, можно выделить три группы в зависимости от вида тока (постоянный, переменный или импульсный). Дальнейшее деление этих аппаратов производится по функциональному признаку и включает в себя названия медицинских методик.

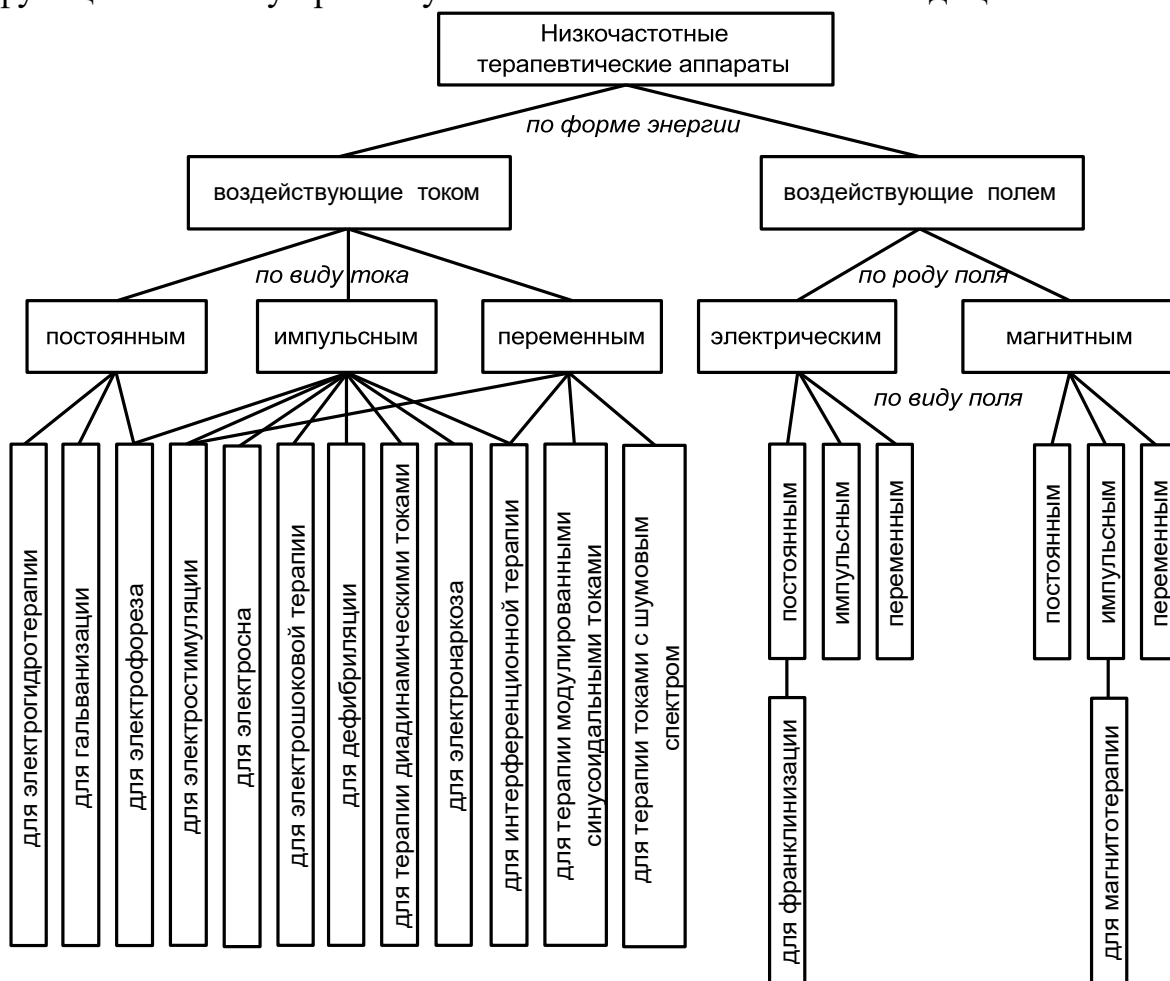


Рисунок 4.2 – Классификация низкочастотной электротерапевтической аппаратуры

Аппараты, воздействующие низкочастотным полем, делятся в зависимости от рода поля, т.е. используемой составляющей поля индукции (электрическое, магнитное). Следующая ступень классификации определяется видом поля (постоянное, переменное, импульсное). Дальнейшее деление – по медицинским методикам.

Высокочастотные терапевтические аппараты (рисунок 4.3) составляют две группы в соответствии с формой используемой энергии (ток, поле). Аппараты,

воздействующие полем, делятся на три группы в зависимости от используемой составляющей электромагнитного поля (электрическое, магнитное, электромагнитное). Дальнейшее деление аппаратов, воздействующих как током, так и полем, – в зависимости от режима колебаний (непрерывный, импульсный). Заканчивается классификация высокочастотных терапевтических аппаратов конкретными медицинскими методиками.

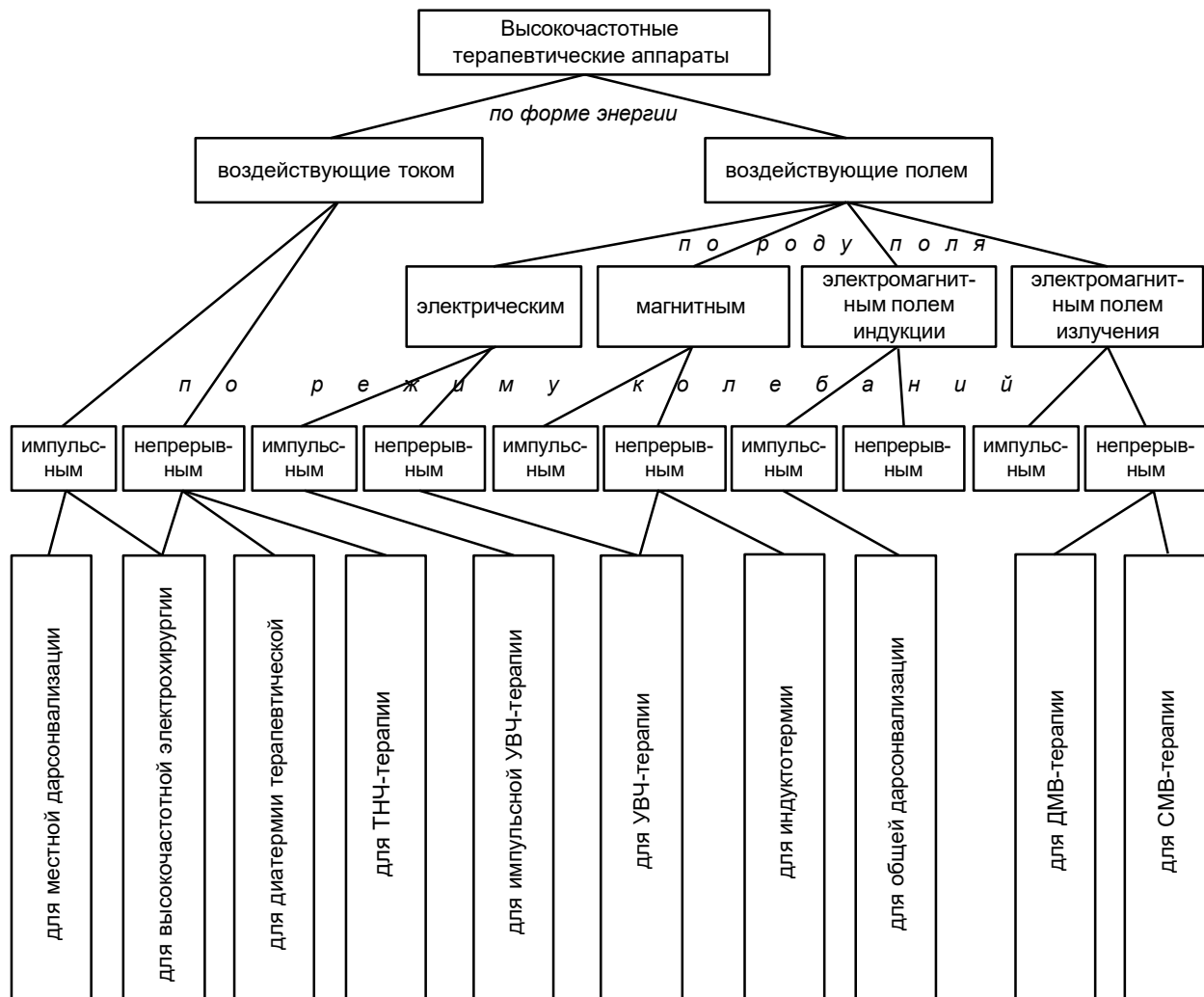


Рисунок 4.3 – Классификация высокочастотной электротерапевтической аппаратуры

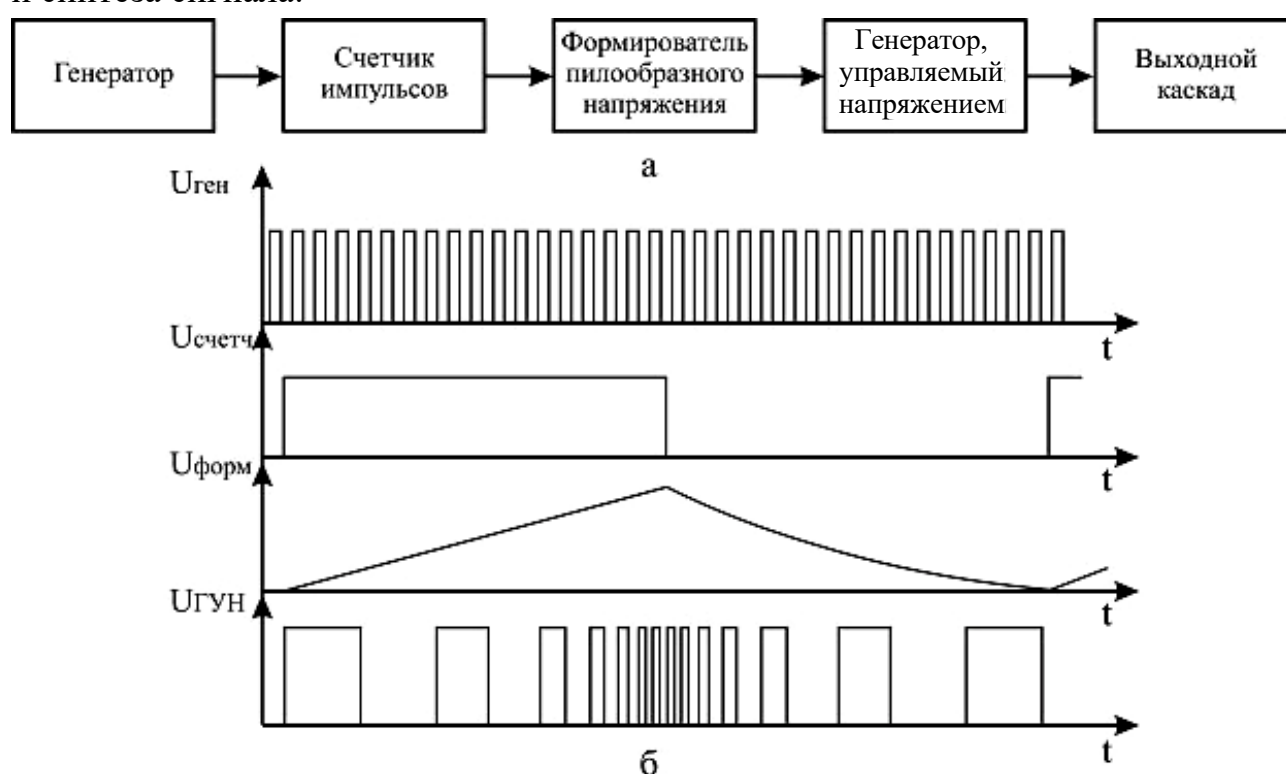
## 4.2 Разработка структурной схемы терапевтического аппарата

Выбор структурной схемы основывается на анализе исходных данных, разработке технического задания на проектирование изделия, результатах литературного и патентного обзора по теме проекта. В качестве структурной схемы допускается использование схем лучших образцов зарубежных или отечественных аппаратов, позволяющих достичь требуемых технических характеристик, либо применение оригинальных компоновок блоков, разработанных автором самостоятельно.

Структурная схема терапевтического аппарата должна содержать наиболее крупные функциональные блоки и узлы. Необходимо привести функциональное

назначение каждого блока и описать их взаимодействие во времени. При описании целесообразно пользоваться временными диаграммами работы блоков и устройств, описанием сигналов на входах/выходах блоков и т.д. Особенностью данных схем является детализация блоков, взаимодействующих с пациентом. Возможны различные подходы при проектировании аппарата. Аппарат может быть реализован на основе дискретных элементов, полузаказных и заказных микросхем, на основе микроконтроллеров и различных компьютерных технологий. Независимо от того, какая часть аппарата реализуется программно, а какая аппаратно, необходимо привести структурную схему, позволяющую понять, какие функции реализуются в устройстве.

Например, на рисунке 4.4 приведена структурная схема аппарата акустоэлектронной терапии и временные диаграммы, поясняющие принцип работы и синтеза сигнала.



а – структурная схема аппарата;  
б – временные диаграммы работы

Рисунок 4.4 – Аппарат акустоэлектронной терапии

Развитие технологии электронной техники позволяет использовать микропроцессоры и микроконтроллеры для построения терапевтической аппаратуры (рисунок 4.5). Обычно имеется возможность управлять следующими параметрами выходных сигналов: длительностью и скважностью, амплитудой и выходной мощностью и т.д. При помощи микропроцессорных средств управления можно задавать форму и тип импульсов (однополярный/биполярный), а также задавать длительность положительных и отрицательных импульсов. Для задания длительности сигналов в микропроцессорных системах используется блок таймеров, в то время как ЦАП (встроенный или внешний) задает огибающую.

Далее сигнал поступает на выходной каскад для усиления. Выходной каскад также обеспечивает гальваническую развязку для защиты пациента в случае выхода прибора из строя.

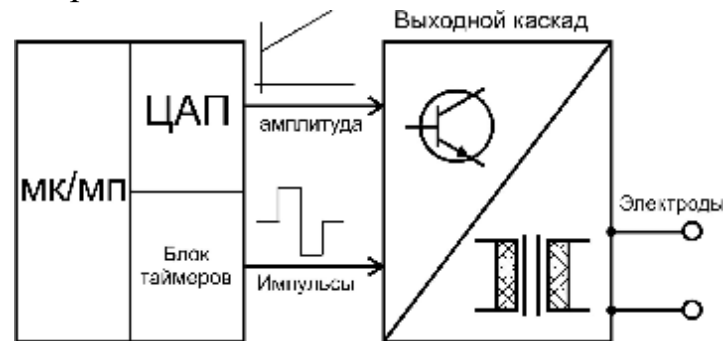


Рисунок 4.5 – Типовая схема терапевтического прибора

При построении терапевтической техники возможны два подхода: однопроцессорная и многопроцессорная реализация блока управления. Для корректного выбора необходимо учесть следующие аспекты:

- 1 Необходимость в независимых каналах терапевтического воздействия.
- 2 Диапазон изменения параметров (как правило, частота) сигнала для каждого канала.
- 3 Потребность в дополнительных средствах контроля и индикации.
- 4 Возможности для дальнейшей модернизации и изменений прибора.

Если нет необходимости в независимых каналах терапевтического воздействия, то можно сэкономить средства на разработку и производство изделия, а также существенно уменьшить его размеры. С помощью обычного мультиплексора одноканальный аппарат можно превратить в многоканальный (рисунок 4.6). Проблемы начинаются при обеспечении независимого воздействия по нескольким терапевтическим каналам, а также при обеспечении биотехнической обратной связи. Все независимые каналы должны работать одновременно и независимо друг от друга. В следующий период времени необходимо регистрировать ответную реакцию организма на терапевтическое воздействие. Перекрестные помехи активных каналов могут сделать регистрацию ответной реакции невозможной.

Для обеспечения независимой установки частоты для каждого канала необходимо обеспечить независимые блоки генерации сигналов. Это возможно при использовании мультипроцессорных систем либо однопроцессорных систем с установкой таймеров для каждого из каналов. Если принять ограничение, что линейка допустимых частот в каналах создается путем умножения базовой частоты, разработка однопроцессорной системы упростится.

Необходимо разработать интерфейс пользователя, т.е. обеспечить возможность ввода параметров процедуры и получения информации о работе устройства. При этом используется широкий спектр приборов, начиная от кнопок и заканчивая сенсорными экранами, от светодиодов до ЖК-мониторов. Кроме того, необходимо обеспечить связь с персональным компьютером (протоколы RS232, USB, TCP/IP). Это позволяет быстро задавать параметры терапевтиче-

ских процедур, делает возможным применение терапевтического аппарата в комплексе с другими устройствами, позволяет легко анализировать диагностические данные.

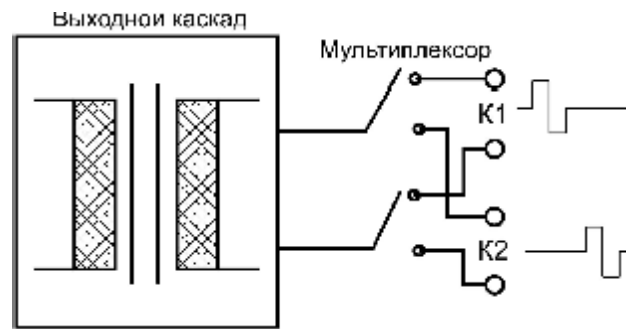


Рисунок 4.6 – Многоканальное устройство с мультиплексором

На практике возможны две концепции построения медицинской аппаратуры: однопроцессорное и мультипроцессорное решение. При сравнении этих вариантов необходимо учитывать: наличие независимых каналов терапевтического воздействия, интерфейс пользователя, связь устройства с персональным компьютером (ПК), внутреннюю память устройства.

При разработке однопроцессорной системы (рисунок 4.7) необходимо корректно выбрать процессор. Высокопроизводительные процессоры являются дорогостоящими. Системы со слабыми процессорами сложно модифицировать. Кроме того, есть риск, что эти процессоры снимут с производства. Выбранный интерфейс связи с персональным компьютером должен быть аппаратно реализован в процессоре. Это экономит процессорное время для решения более важных задач. Определив требования к системе, необходимо продумать структуру программного обеспечения. Разработчик сталкивается с проблемой задержек в работе процессора (при отсчете временных интервалов и обработке прерываний, при одновременной работе двух таймеров для одного независимого канала – один для отсчета длительности импульса и второй для отсчета полуволны). Кроме того, при реализации связи с ПК необходимо исключить возможность переполнения буфера. Дополнительные проблемы возникают при необходимости расширения возможностей системы (например вместо трех необходимо четыре канала).

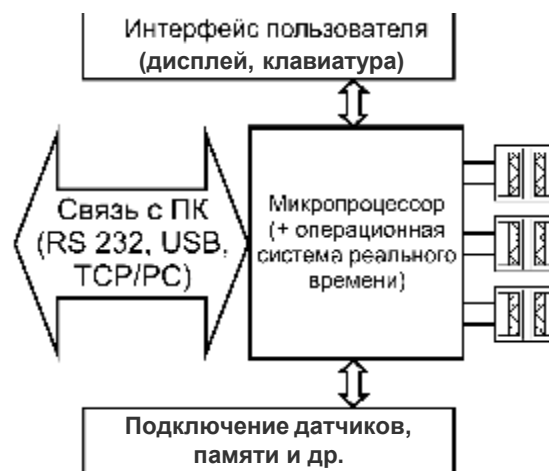


Рисунок 4.7 – Однопроцессорная терапевтическая система

При увеличении количества задач возникает необходимость в многозадачной операционной системе. Программа может быть разбита на более понятные независимые задачи и легко расширена дополнительными заданиями. Однако при этом требования к производительности процессора возрастают на два порядка. Кроме того, такая система не может работать в режиме реального времени, что необходимо для генерации терапевтических сигналов. Для устранения этих проблем необходимо использовать операционную систему реального времени, а также подходящий процессор.

Идея мультипроцессорной системы (рисунок 4.8) заключается в распределении задач между несколькими микропроцессорами или микроконтроллерами. Небольшие (низкопроизводительные и дешевые) процессоры выполняют задачи реального времени, такие как генерация терапевтических сигналов, прием и обработка диагностической информации. Центральный процессор используется для реализации интерфейса пользователя и связи с ПК, для задания начальных условий работы и обработки поступающих данных.



Рисунок 4.8 – Многопроцессорная терапевтическая система

Так как задачи реального времени решаются другими устройствами, центральный процессор может быть гораздо менее мощным по сравнению с однопроцессорными решениями и не требует операционной системы реального времени. Важным этапом при создании мультипроцессорных систем является разработка шины данных. Необходимо разработать структуру, подобную шинам SPI или I<sup>2</sup>C, с возможностью передачи данных от ведущего к ведомому и наоборот. Обычно центральный процессор контролирует процесс передачи данных. Иногда возникает необходимость в дополнительном контроллере передачи данных. В таком случае необходимо использовать шины с возможностью работы нескольких ведущих (подобно I<sup>2</sup>C). Аппаратная поддержка шины может сэкономить время на разработку программы и процессорное время.

Таким образом, при создании систем обоих типов могут возникнуть трудности. При однопроцессорном варианте необходимо разработать операционную систему, работающую в режиме реального времени. Системы являются более надежными, однако расширение такой системы может быть ограничено аппаратными мощностями процессора. Для мультипроцессорной системы в свою очередь возникают проблемы с взаимодействием центрального и пери-

ферических процессоров, необходимо устранять ошибки передачи данных, разработать шину передачи, выбрать и реализовать протокол обмена. Однако разработать мультипроцессорную систему обычно проще. Дополнительный терапевтический или диагностический канал может быть реализован простым добавлением к шине еще одного процессора. Если рассматривать безопасность пациента, можно отметить, что в случае сбоя в однопроцессорной системе стимуляция прекращается по всем каналам. Это хорошо, например, для систем электростимуляции периферической мускулатуры, однако в случае кардиостимуляции или электростимуляции дыхания это может привести к смерти пациента. В случае сбоя одного из процессоров многопроцессорной системы выходит из строя только один канал.

## 5 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ (ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ) СХЕМЫ АППАРАТА

В зависимости от сложности аппарата разрабатывается функциональная или принципиальная электрическая схема аппарата.

При разработке схемы устройства необходимо уделить внимание:

- выбору, обоснованию и оптимизации пассивных и активных комплектующих элементов;
- выбору и обоснованию схемотехнической реализации отдельных блоков и каскадов;
- разработке электрической схемы изделия с расчетом и синтезом отдельных блоков;
- электрическому расчету (синтезу) отдельных блоков, каскадов, излучателей, направляющих систем;
- исследованию электрических и (или) иных характеристик разрабатываемого изделия.

В общем случае могут быть выполнены следующие расчеты:

- электрические расчеты схемы и отдельных ее блоков с целью определения электрических и динамических параметров и характеристик элементов, мощности тепловых потерь, коэффициентов нагрузки, частотных и переходных характеристик устройства, устойчивости системы и других параметров, необходимых для оценки работы СМЭ в различных режимах и проведения конструкторских расчетов;
- синтез цифровых и расчет аналоговых схем с целью определения быстродействия, нагрузочной способности элементов, разрядности устройств, протокола передачи информации, метода кодирования данных, способа хранения информации;
- точности и стабильности выходных параметров функционально законченных частей изделия с учетом технологического разброса и эксплуатационного ухода первичных параметров;

Пример функциональной электрической схемы простейшего электронейростимулятора, реализованного на интегральных схемах средней интеграции, приведен на рисунке 5.1.

Уделить внимание всем указанным электрическим расчетам даже в случае несложной функциональной части не всегда представляется возможным. В таких случаях необходимо уделить внимание *трем–пяти расчетам*, важнейшим для проектируемого изделия, с обязательным включением в этот перечень не менее двух электрических расчетов схемы и отдельных ее частей. Конкретное содержание и объем расчетного материала зависят от темы проекта или функциональной части устройства, выбранных для детального рассмотрения, а также от исходных данных.

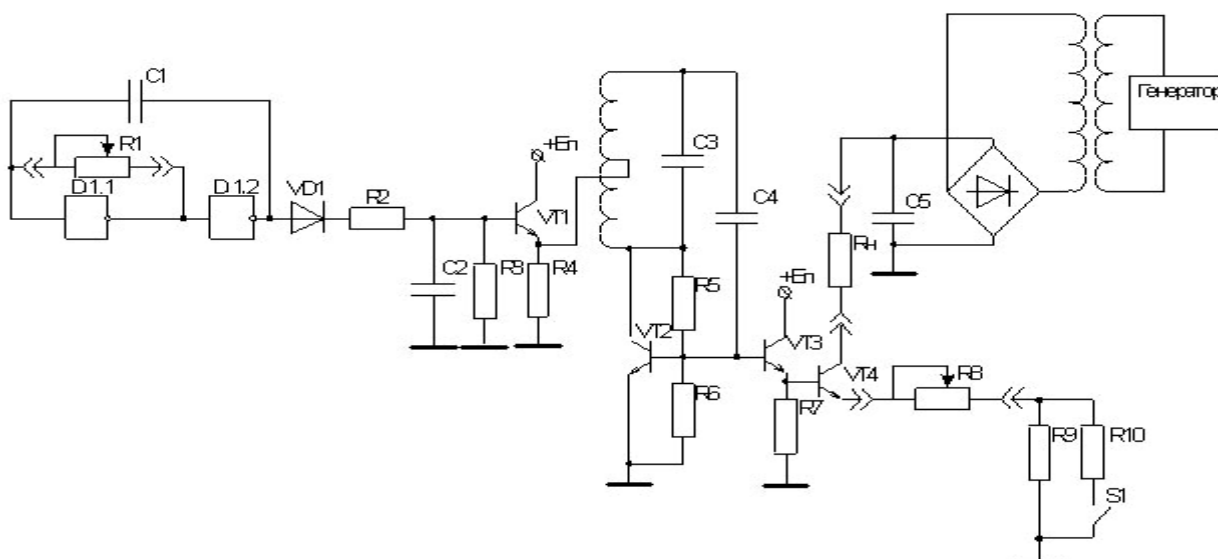


Рисунок 5.1 – Функциональная схема электростимулятора на основе источника тока

Аппараты электронной терапии имеют специфические узлы. К таким узлам относятся: выходные каскады аппаратов, различные схемы защиты (по излучаемой мощности, по току), обеспечивающие безопасность проведения процедур терапии, схемы измерения выходной мощности (амплитуды) сигнала и т.д. При проектировании ЭЛА на них необходимо обратить особое внимание.

С целью проверки правильности теоретических расчетов, исследования частотных и переходных характеристик электронных блоков и спектральных характеристик сигналов, выполнения расчетов по постоянному и переменному току выполняется моделирование работы принципиальной электрической схемы всего аппарата или отдельных его блоков. В качестве средства моделирования могут быть использованы пакеты прикладных программ Micro-Cap, Work Bench, SIMetrix и др.

Рассмотрим примеры расчета электронных блоков.

**Пример 1** – Расчет «мостовой» схемы выходного каскада электромиостимулятора со стимуляцией током (рисунок 5.2).

Расчёт мостовой схемы произведем для одного из плеч схемы. Расчет для второй половины аналогичен. Схема работает таким образом, что когда ток генерируется источником тока на транзисторе VT4, то открыт электронный ключ на транзисторах VT1 и VT2, и наоборот.

Исходные данные для расчёта: напряжение питания  $U_n=200$  В, амплитуда входного сигнала  $U_c=1$  В, амплитуда тока в нагрузке  $I_n=20$  мА, частота стимулирующего сигнала  $f_c=5$  кГц.

По требованиям электробезопасности ток частотой более 1 кГц в нагрузке  $R_n=500$  Ом должен быть не более 80 мА.

Ток в нагрузке задаётся источником тока, выполненном на транзисторе VT5, и определяется по формуле

$$I_n = \frac{(U_c - U_{\text{бэ}})}{R_5}. \quad (5.1)$$

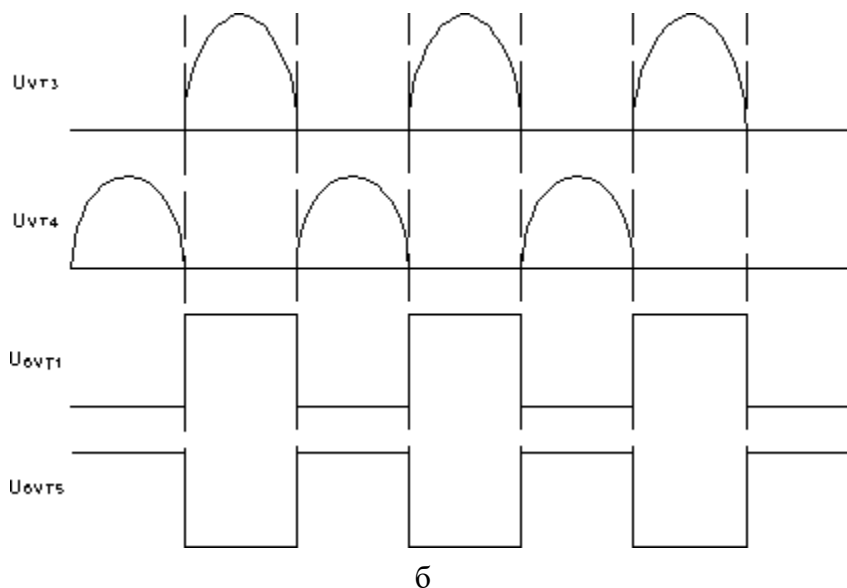
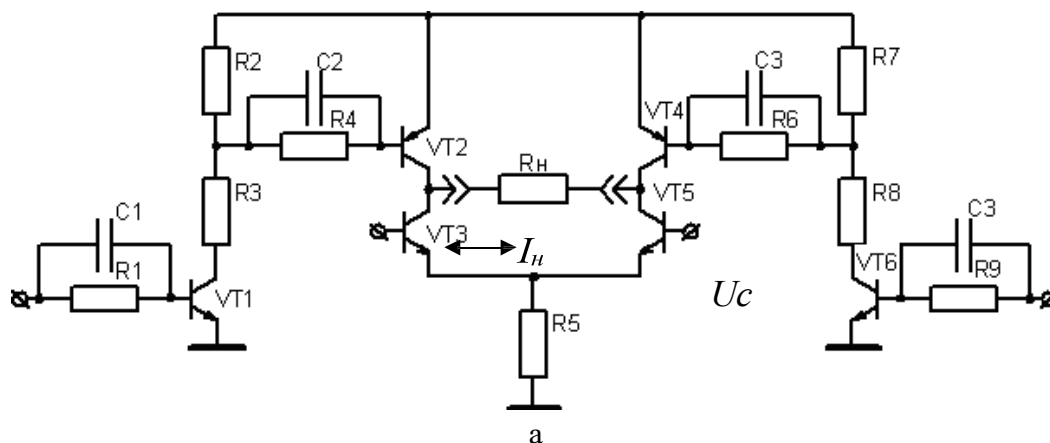


Рисунок 5.2 – Электрическая принципиальная схема выходного каскада электростимулятора (а) и диаграммы работы выходного каскада (б)

Зная, что  $U_{бэ} = 0,6 \text{ В}$  и подставив в формулу (5.1) исходные данные для расчёта, находим  $R_5$ :

$$R_5 = \frac{(U_c - U_{бэ})}{I_H} = \frac{1\text{В} - 0,6\text{В}}{20\text{мА}} = 20 \text{ Ом.}$$

Для предотвращения возможного перехода транзистора VT5 в режим насыщения необходимо, чтобы напряжение на его переходе коллектор–эмиттер составляло 2...3 В.

Транзисторы VT1, VT2 во включенном состоянии работают в режиме насыщения. Соответственно данному режиму работы падение на переходах коллектор–эмиттер этих транзисторов составляет 0,02...3,0 В. Максимальный ток коллектора транзисторов VT2, VT5 должен быть не менее тока нагрузки:

$$I_{k\text{max}} = 1,5 \dots 3 \cdot I_H \approx 2 \cdot 20 = 40 \text{ мА.}$$

Максимальное напряжение коллектор–эмиттер транзисторов VT2, VT5 должно быть не менее напряжения питания:

$$U_{кэ\text{max}} = 1,2 \dots 3 \cdot U_n \approx 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ В.}$$

Максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе VT5, должна быть не менее максимальной мощности, которая может быть передана от источника в нагрузку:

$$P_{к\max} = 1,2 \dots 2 \cdot P_{ис\max}, \quad (5.2)$$

$$P_{ис\max} = U_{пит} \cdot I_{н\max} = 200 \text{ В} \cdot 20 \text{ мА} = 4 \text{ Вт.}$$

$$P_{к\max} = 1,2 \cdot 4 \text{ Вт} = 4,8 \text{ Вт.}$$

По выше рассчитанным характеристикам выберем транзисторы VT2, VT5 и сведём их параметры в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Параметры транзисторов VT2, VT5

Обозначение	Марка	Полярность	$P_{к\max}$ , Вт	$U_{кб\max}$ , В	$U_{кэ\max}$ , В	$U_{эб\max}$ , В	$I_{к\max}$ , мА	$h_{21e}$	$U_{кэ\text{нас}}$ , В	$I_{кбб}$ , мкА	$f_{гр}$ , МГц	Корпус и диапазон раб.темпер.
VT2	КТ521А	PNP	0,625	300	300	5	500	>40	0,5	100	50	КТ-26* -60...85°C
VT5	КТ969А	NPN	6,0	300	250	5,0	100	50-250	1,0	0,05	60	КТ-27 -45...85°C

Для повышения помехоустойчивости ключа на транзисторе VT2 ток базы должен быть:

$$I_{бVT2} = 1,2 \dots 1,5 \cdot \frac{I_{к\max}}{h_{21эVT2}}, \quad (5.3)$$

$$I_{бVT2} = 1,2 \cdot \frac{40}{40} = 1,2 \text{ мА.}$$

Напряжение на R4 не должно превышать напряжение  $U_{б\max}$  транзистора VT2:

$$U_{R4} = I_{бVT2} \cdot R4 < U_{бVT2}. \quad (5.4)$$

Отсюда выразим R4:

$$R4 < \frac{U_{б\max VT2}}{I_{бVT2}}, \quad (5.5)$$

$$R4 < \frac{5}{1,2} \approx 4170 \text{ Ом.}$$

Зададимся ближайшим из ряда стандартных значений E24  $R4=4,1 \text{ Ом}$ .

R2 определим из соотношения:

$$U_{R2} = I_{кVT1} \cdot R2 = U_{R4} + U_{эбVT2}. \quad (5.6)$$

Для повышения помехоустойчивости ключа на транзисторе VT2 зададимся током  $I_{кVT1}=10 \cdot I_{бVT2}=12 \text{ мА}$ :

$$R2 = \frac{U_{R4} + U_{эбVT2}}{I_{кVT2}}, \quad (5.7)$$

$$R2 = \frac{4,1 \cdot 1,2 + 0,6}{12} = 460 \text{ Ом.}$$

Из стандартного ряда E24 выберем ближайшее значение  $R2 = 470 \text{ Ом}$ .

Выберем транзистор VT1 по тем же соображениям, что и VT2 (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Параметры транзисторов VT1

Обозначение	Марка	Полярность	$P_{к\max}$ , Вт	$U_{кб\max}$ , В	$U_{кэ\max}$ , В	$U_{эб\max}$ , В	$I_{к\max}$ , мА	$h_{21e}$	$U_{кэ\text{нас}}$ , В	$I_{кбб}$ , мкА	$f_{зр}$ , МГц	Корпус и диапазон раб.темпер.
VT1	КТ520А	NPN	0,625	300	300	6	500	>40	0,5	100	50	КТ-26* -60...85°C

Номинал  $R3$  определим из следующего соотношения:

$$U_{R3} = \frac{U_n - U_{R2} - U_{кэ\text{нас}VT1}}{U_n - U_{R2} - U_{кэ\text{нас}VT1}}, \quad (5.8)$$

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_{кVT1}}, \quad (5.9)$$

$$R3 = \frac{200 - 5,52 - 0,5}{12} = 16165 \text{ Ом.}$$

Из стандартного ряда выберем ближайшее значение  $R3=16$  кОм.

$$R1 = \frac{U_{упр} - U_{бэ}}{(1,5...2) \cdot I_{бVT1}}, \quad (5.10)$$

где  $U_{упр}$  напряжение управляющего сигнала  $U_{упр}=4,5$  В.

$$I_{бVT1} = \frac{I_{кVT1}}{h_{21эVT1}}, \quad (5.11)$$

$$I_{бVT1} = \frac{12}{40} = 0,3 \text{ мА.}$$

$$R1 = \frac{4,5 - 0,6}{(1,5...2) \cdot 0,3} = 6500 \text{ Ом.}$$

Выбираем ближайшее из стандартного ряда значений  $R1=6,4$  кОм.

Номиналы мощностей резисторов определяются по формуле

$$P_R = I_R^2 \cdot R, \quad (5.12)$$

где  $I_R$  – ток, протекающий через резистор,  $R$  – номинал резистора.

Соответственно для каждого из резисторов получаем:

$$P_{R4} = I_{бVT2}^2 \cdot R4 = 1,2^2 \cdot 4,1 = 0,0059 \text{ Вт,}$$

$$P_{R2} = I_{кVT1}^2 \cdot R2 = 12^2 \cdot 4,1 = 0,59 \text{ Вт,}$$

$$P_{R3} = I_{кVT1}^2 \cdot R3 = 12^2 \cdot 16 = 2,3 \text{ Вт,}$$

$$P_{R1} = I_{бVT1}^2 \cdot R1 = 0,3^2 \cdot 6,4 = 0,00058 \text{ Вт,}$$

$$P_{R5} = I_n^2 \cdot R5 = 20^2 \cdot 4,1 = 1,64 \text{ Вт.}$$

Мощность, рассеиваемая на резисторах  $R2$ ,  $R3$ , является импульсной, а не долговременной. Поэтому представляется возможным выбрать резистор несколько меньшей долговременной мощности, но с малыми габаритными размерами. Номиналы мощностей резисторов выбираем ближайшие из ряда мощностей. Результаты расчетов номиналов резисторов сведем в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Выбор резисторов схемы

Поз.	Тип	Расчетный параметр, $P_{расч}$ , Вт	Выбранный параметр, $P_{ном}$ , Вт	Коэффициент нагрузки, $K_n$
R1	C2-23	0,00058	0,125	<0,1
R2	C2-23	0,59	0,5	1,18
R3	C2-23	2,3	2	1,15
R4	C2-23	0,0059	0,125	<0,1
R5	C2-23	1,64	2	<0.82

Номиналы емкостей  $C1$  и  $C2$  определяются из условия

$$3 \cdot (R_u + R_{ex}) \cdot C \leq t_u, \quad (5.13)$$

где  $R_u$  – сопротивление источника сигнала,

$R_{ex}$  – входное сопротивление ключа по отношению к емкости  $C$ ,

$t_u$  – длительность импульса управления (переключения ключа).

$$t_u = \frac{1}{2 \cdot f_c}, \quad (5.14)$$

$$t_u = \frac{1}{2 \cdot 5} = 0,1 \text{ мс.}$$

Значения емкостей можно рассчитать следующим образом. Для емкости  $C2$  сопротивление  $R_u$  является  $R3 || R2$ , а  $R_{ex} = R4 + R_{exVT2}$ , где  $R_{exVT2}$  – входное сопротивление транзистора VT2. В схеме с общим эмиттером оно мало и им можно пренебречь. Определим номинал  $C2$ :

$$C2 = \frac{t_u}{3 \cdot (R3 || R2 + R4)}, \quad (5.15)$$

$$C2 = \frac{0,1}{3 \cdot (\frac{16000 \cdot 460}{16000 + 460} + 4,1 \cdot 1000)} = 7,2 \text{ нФ.}$$

Для емкости  $C1$   $R_u$  является сопротивлением выходных цепей схемы управления. Как правило, значение его мало и им можно пренебречь.  $R_{ex} = R1 + R_{exVT1}$ , где  $R_{exVT1}$  – входное сопротивление транзистора VT1. Как и в случае расчёта ёмкости  $C2$ , им также можно пренебречь. Таким образом, для  $C1$  получаем:

$$C1 = \frac{t_u}{3 \cdot R1}, \quad (5.16)$$

$$C1 = \frac{0,1}{3 \cdot 6,4 \cdot 1000} = 5,2 \text{ нФ.}$$

Выбираем ближайшие к полученным при расчёте значениям номиналы ёмкостей  $C1$  и  $C2$  из стандартного ряда значений.  $C1 = 7,5$  нФ,  $C2 = 5,6$  нФ.

Номинальное предельно допустимое напряжение конденсаторов определяется максимальными напряжениями, которые будут прикладываться к их обкладкам. Для конденсатора  $C1$  это напряжение не превысит напряжения вход-

ного сигнала, для  $C2$  – падения на  $R2$ . По результатам проведенных вычислений выберем конденсаторы типа К10-17 (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Выбор конденсаторов схемы

Поз.	Тип	Расчетный параметр, $U_{расч}, В$	Выбранный параметр, $U_{ном}, В$	Коэффициент нагрузки, $K_n$
C1	К10-17	4,5	40	0,11
C2	К10-17	5,52	40	0,138

**Пример 2** – Расчет задающего генератора аппарата дарсонвализации.

Рассмотрим базовую схему мультивибратора на таймере 555 для генерации прямоугольных импульсов (рисунок 5.3).

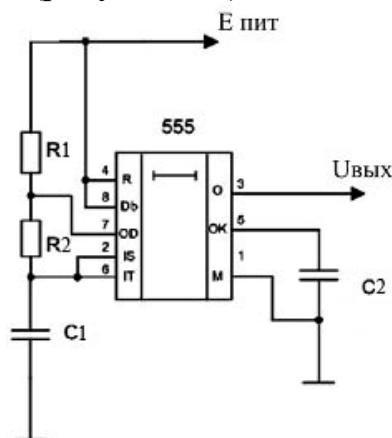


Рисунок 5.3 – Базовая схема включения таймера 555

Форма выходного сигнала изображена на рисунке 5.4, а. На рисунке 5.4, б приведена форма напряжения на конденсаторе  $C1$ .

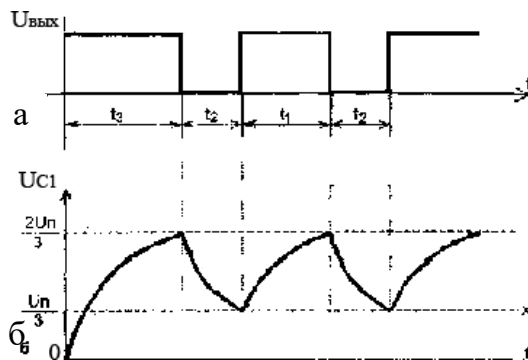


Рисунок 5.4 – Форма выходного сигнала и напряжения на конденсаторе

После включения питания этот конденсатор заряжается от 0 до  $2U_n/3$  (при этом напряжении переключается первый компаратор) за время  $t_3$ , равное

$$t_3 = 1,1 \cdot (R1 + R2) \cdot C1. \quad (5.17)$$

Это является причиной того, что первый положительный импульс получается длиннее следующих за ним импульсов. Далее конденсатор заряжается от напряжения  $U_n/3$  (срабатывает второй компаратор) до напряжения  $2U_n/3$ . Это быстрее, и время заряда составляет

$$t_1 = 0,693 \cdot (R1 + R2) \cdot C1. \quad (5.18)$$

Разряжается конденсатор от  $2U_n/3$  до  $U_n/3$  за время

$$t_2 = 0,693 \cdot R1 \cdot C1. \quad (5.19)$$

Длительность рабочего цикла установившихся колебаний получается

$$T = t_1 + t_2, \quad (5.20)$$

а частота, соответственно:

$$f = \frac{1,443}{(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1}. \quad (5.21)$$

Генератор формирует меандр с высокой точностью.

Для случая, когда частота следования прямоугольных импульсов должна быть  $f = 20$  Гц, период соответственно равен  $T = 0,05$  с, а скважность – близка к 50 %, получаем:

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1 = 0,05 \text{ с}. \quad (5.22)$$

Зададимся емкостью конденсатора  $C1 = 1$  мкФ, сопротивлением  $R2 = 1$  кОм. Тогда из формулы (5.22) получаем  $R2 = 36$  кОм и  $t_1 \approx t_2 \approx 0,025$  с.

Таким образом, получаем на выходе микросхемы прямоугольные импульсы с частотой следования 20 Гц и скважностью примерно равной 50 %. При этом  $R1 = 1$  кОм,  $R2 = 36$  кОм,  $C1 = 1$  мкФ,  $C2 = 10$  нФ.

Конденсатор  $C2$  нужен для стабильной работы генератора.

**Пример 3** – Расчет генератора управляемого напряжением (ГУН) схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Задающий генератор должен обеспечить генерацию и поддержание частот от 22 до 880 кГц. Для реализации этих параметров целесообразно применение микросхемы CD4046AB, сочетающей в себе генератор, управляемый напряжением, и схему ФАПЧ. Микромощная цифровая микросхема CD4046AB содержит следующие внутренние узлы (рисунок 5.5): генератор, управляемый напряжением (ГУН), два фазовых компаратора (ФК1 – включающее ИЛИ или ФК2 – триггерная схема), формирователь-усилитель УФ входного сигнала, выходной источник повторитель ИП. Для удобства применения на кристалле микросхемы изготовлен источник опорного напряжения – стабилитрон с напряжением 5,2 В.

Узел ГУН – основа фазовой автоматической подстройки (ФАП). Он обеспечивает линейность преобразования напряжение–частота лучше 1 %. Для установки свободной частоты ГУН и диапазона девиации этой частоты требуются три внешних элемента: конденсатор  $C1$  и резисторы  $R1, R2$ . Элементы  $R1$  и  $C1$  фиксируют свободную частоту генерации с помощью  $R2$  этой частоты. Частота выходных импульсов ГУН (на выходе 4) называется свободной, если на входе управления частотой ГУН (на выводе 9) напряжение отсутствует.

В петле ФАП на вход ГУН подается напряжение ошибки. В устройстве оно снимается с внешнего фильтра низкой частоты ( $R3, C2$ ), где сглаживается импульсный сигнал, генерируемый одним из фазовых компараторов ФК1 или ФК2. Выбрать выход компаратора позволяет переключатель  $S1$ . Управляющий сигнал ГУН имеется и на выводе 10 – исток повторителя. Для правильной работы повторителя требуется подключать внешний резистор нагрузки  $R_n > 10$  кОм. Если этот выход не нужен, вывод 10 оставляется свободным.

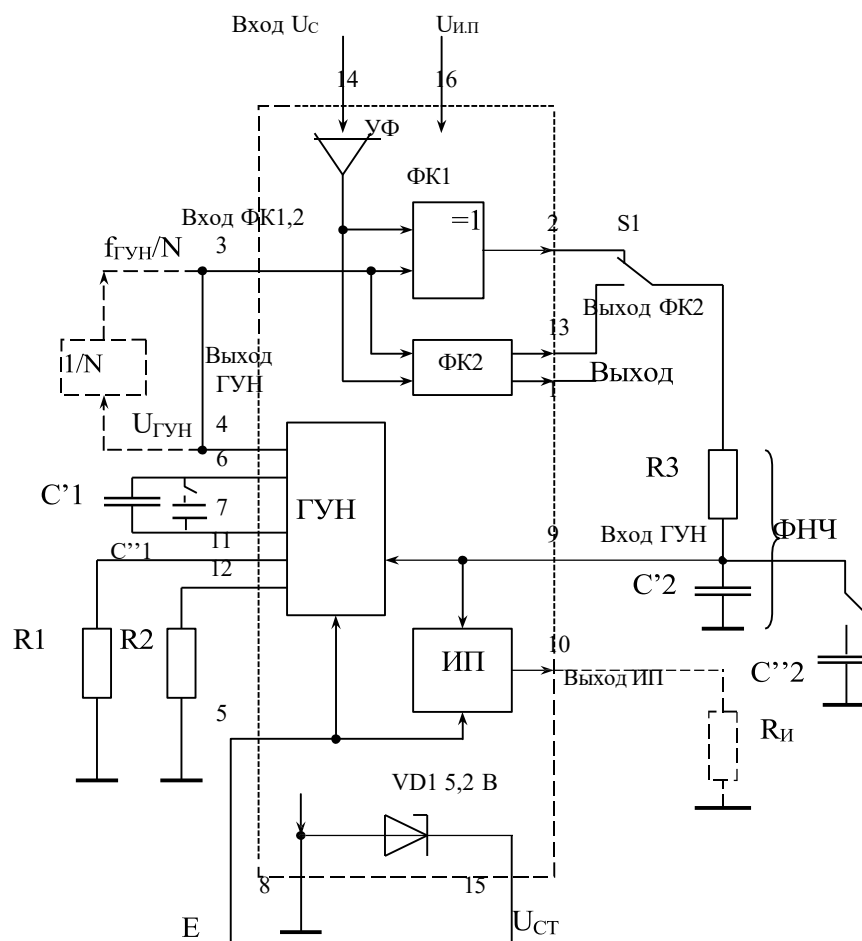


Рисунок 5.5 – Структурная схема ФАП CD4046AB

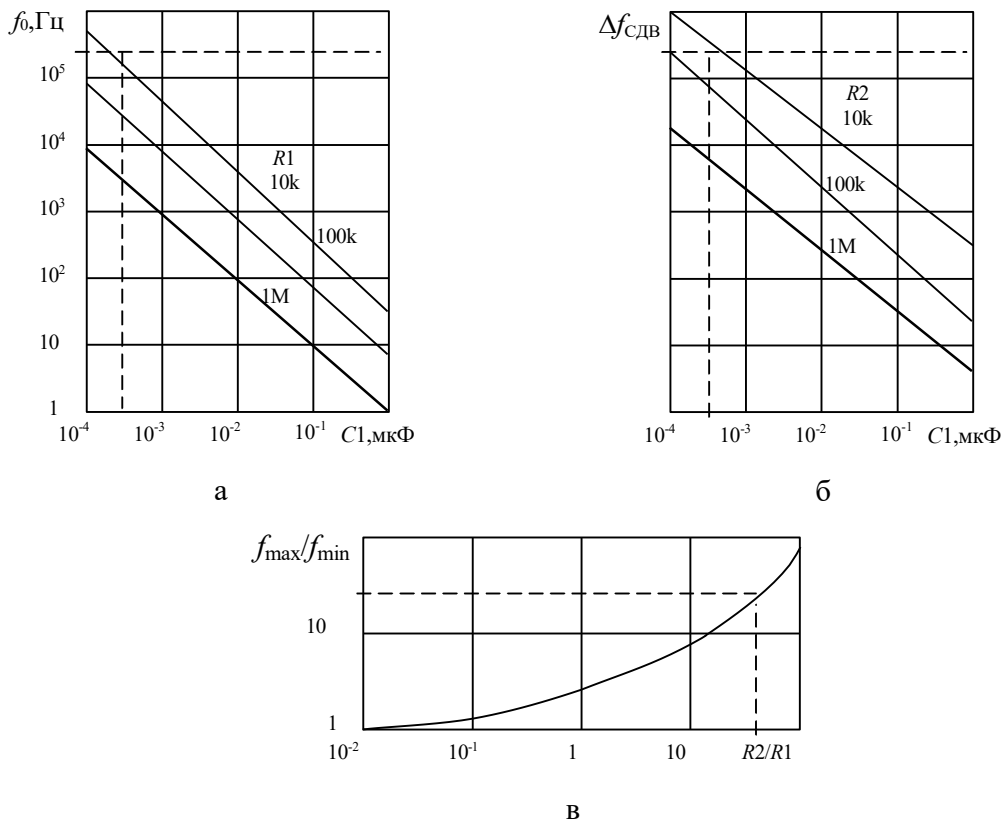
Петля ФАП в схеме состоит из трех узлов: ГУН, ФК1 (или ФК2) и фильтра низкой частоты (ФНЧ). Фильтр НЧ образуют резистор  $R_3$  и конденсатор  $C_2$ . Как известно, особо опасна для работы системы ФАП вторая гармоника частоты ГУН. Поскольку входное сопротивление ГУН велико (до  $10^{12}$  Ом), номинальная емкость конденсатора  $C_2$  в результате может быть небольшой.

Входной цифровой сигнал  $U_c$  вводится в петлю ФАП от входа 14 через усилитель УФ и поступает на сигнальные входы обоих компараторов ФК1 и ФК2. На вторые входы компараторов подается выходной меандр свободной частоты от выхода ГУН. Отфильтрованное (сглаженное) напряжение с конденсатора  $C_2$  поступает на вход ГУН (вывод 9) в такой фазе, чтобы частота ГУН стала приближаться к частоте сигнала  $U_c$ . Некоторое время, таким образом, будет идти переходной процесс автоподстройки частоты. В конце этого процесса установится режим автоподстройки фазы, поскольку частоты будут равны. Затем петля ФАП с большой точностью уравнивает фазы сигнала и выходного напряжения ГУН. Полезными выходными сигналами петли ФАП могут быть как напряжение с выхода ФНЧ (выход повторителя, вывод 10), так и выходная частота  $f_{ГУН}$  (вывод 4).

Если требуется уменьшить мощность потребления в режиме ожидания, на вход разрешения  $E$  следует подать напряжение высокого уровня. Номиналы внешних элементов следует выбирать в следующих пределах:  $R_1, R_2 \geq 10$  кОм,  $R_и \leq 1$  МОм,  $C_1 > 100$  пФ (при  $U_{и.п} = 5$  В) и  $C_1 > 50$  пФ (при  $U_{и.п} > 10$  В).

Центральную частоту ГУН  $f_0$  (свободная частота ФАП, работающей с компаратором ФК1) можно выбрать по рисунку 5.6, а. Выбранную частоту следует сместить на величину  $\Delta f_{\text{сдв}}$ , если вывод 12 микросхемы и нулевой провод соединить через резистор  $R2$ . Значение частоты сдвига  $\Delta f_{\text{сдв}}$  можно определить по рисунку 5.6, б.

На рисунке 5.6, в показана зависимость максимальной  $f_{\text{max}}$  и минимальной  $f_{\text{min}}$  частот от отношения номиналов  $R1/R2$ . Здесь  $f_{\text{max}}$  определяется, когда  $U_{\text{вхГУН}} = U_{\text{и.п}}$ , а  $f_{\text{min}}$ , если  $U_{\text{вхГУН}} = 0$ .



а – зависимость центральной частоты  $f_0$  от  $R1$  и  $C1$ ;  
 б – то же для частоты сдвига  $\Delta f_{\text{сдв}}$ ;  
 в – зависимость пределов частот от отношения  $R2/R1$

Рисунок 5.6 – Частотные характеристики ФАП

Фазовые компараторы ФК1 и ФК2 имеют общие входы (вывод 3). На внешний вывод 3 следует подавать сигнал только логики КМОП (уровень логического нуля ниже  $0,3 U_{\text{и.п}}$ , логической единицы – выше  $0,7 U_{\text{и.п}}$ ). Сигналы с меньшей амплитудой можно подавать через емкость и дополнительный усилительный каскад. Схема ФК2 представляет собой четырехтриггерное ЗУ с логикой управления. ФК2 запускается положительными перепадами входных импульсов, поэтому скважность проходящих прямоугольных импульсов сигнала  $U_C$  не имеет значения. На рисунке 5.7 показаны диаграммы сигналов в петле ФАП, работающей с ФК2. Если частота входного сигнала больше (или меньше), чем частота ГУН, выходной каскад ФК2 находится в разомкнутом Z-состоянии. Когда частоты равны, но сигнал отстает по фазе от напряжения ГУН, выходное напряжение ФК2 будет находиться на низком уровне. Если отстает по фазе напряжение ГУН от напряжения сигнала  $U_C$ , на выходе ФК2 появится напряжение высокого уровня.

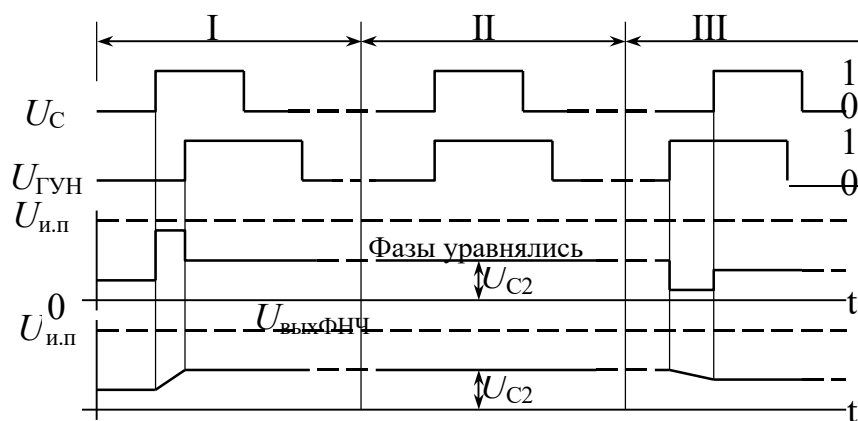


Рисунок 5.7 – Диаграммы сигналов в петле ФАП

Высокий (или низкий) уровень на выходе ФК2 будет удерживаться до тех пор, пока существует разность фаз. На выходе ФНЧ напряжение  $U_{C2}$  скачком изменяться не может, поэтому уравнивание фазы  $U_{\text{выхГУН}}$  с фазой сигнала  $U_C$  потребует некоторого времени. После уравнивания фаз оба р-п-канальные выходных транзистора ФК2 размыкаются, выход переходит в Z-состояние, следовательно, на конденсаторе  $C2$  будет храниться потенциал, соответствующий равенству фаз. Соответственно управляющему напряжению  $U_{C2}$  будет зафиксирована частота ГУН. Таким образом, при работе ФК2 разность фаз между  $U_C$  и  $U_{\text{ГУН}}$  в режиме слежения петли равна нулю. В эти моменты ФК2 потребляет минимум тока, поскольку его выходной каскад разомкнут. Полосы слежения и захвата ФАП с ФК2 одинаковы и не определяются свойствами ФНЧ.

Произведем синтез схемы задающего генератора на основе микросхемы К564ГГ1. Подключением элементов  $R1-R3$ ,  $C1$  задаем центральную частоту и диапазон ее девиации. Для настройки генератора в режиме наладки целесообразна установка подстроечного резистора  $R2$ . Резистор  $R4$  и конденсаторы  $C3$ ,  $C4$  образуют ФНЧ для схемы ФАП. Для реализации синтеза частот 22 кГц и 880 кГц выход ГУН присоединяется ко входам ФК2 (вывод 3) через внешний цифровой делитель частоты в  $N$  раз. Для этого используем переключение ключом  $S1$  выходов 3 К561ИЕ5, делящих основную частоту генерации на 2. Перестройку генератора в диапазоне от 22 до 880 кГц осуществить технически сложно, и точность настройки будет грубой. Поэтому, чтобы обеспечить перестройку, диапазон будет разбит на 2 поддиапазона и должен иметь одинаковый коэффициент:

$$k = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}. \quad (5.23)$$

Выбираем 2 поддиапазона: 22–140 кГц и 140–880 кГц. Для них:

$$k_1 = 140/22 = 6,3 ; k_2 = 880/140 = 6,2.$$

Находим центральную частоту ГУН  $f_0$ :

$$f_0 = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2} + f_{\min}. \quad (5.24)$$

Для первого поддиапазона:  $f_{01} = (140 - 22)/2 + 22 = 81$  кГц;

для второго поддиапазона:  $f_{02} = (880 - 140)/2 + 140 = 510$  кГц.

Используя рисунок 5.6, выбираем следующие номиналы частото задающих элементов:  $R1= 100 \text{ кОм}$ ,  $R2= 6000 \text{ кОм}$ ,  $R3= 110 \text{ кОм}$ ,  $C1= 50 \text{ нФ}$ .

Элементы ФНЧ рассчитываются исходя из необходимости получить постоянную времени фильтра, равную периоду колебаний. Таким образом, получаем два значения постоянной времени

$$\tau = \frac{1}{f} \quad (5.25)$$

$$\tau_{21} = \frac{1}{22 \cdot 10^3} = 45 \cdot 10^{-6} \text{ с,}$$

$$\tau_{22} = \frac{1}{880 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ с,}$$

где  $\tau_{21}$ ,  $\tau_{22}$  – постоянные времени при частоте 22 и 880 кГц соответственно. Приняв значение  $R3$  равным 11 кОм, получим номиналы  $C3$  и  $C4$ :

$$C3 = \frac{\tau}{R3} = 8,7 \text{ нФ.}$$

Таким образом, произведен расчет задающего генератора на частотах 22–880 кГц и обеспечена его работоспособность в качестве элемента ФАПЧ.

**Пример 4** – Расчет режекторного фильтра для удаления сетевой помехи.

Для выборочного подавления составляющих определенных частот необходим фильтр, коэффициент передачи которого на резонансной частоте равен нулю, а для нижних и верхних частот имеет постоянное значение. Такой фильтр называется заграждающим (режекторным) (рисунок 5.8).

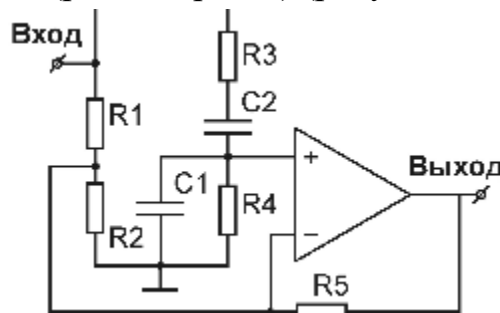


Рисунок 5.8 – Схема режекторного фильтра для удаления сетевой помехи

Если при расчете фильтра принять  $R1=R2=R3=R4=R5=R$  и  $C1=C2=C$ , то расчет резонансной частоты (частоты подавления) будет проходить по формуле:

$$F_{рез} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad (5.26)$$

Частота сетевой помехи равна 50 Гц. Выбираем емкость  $C=3,3\text{мкФ}$  и рассчитываем номинал сопротивления

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot F_{рез} \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 3.3 \cdot 10^{-6}} = 965 \text{ Ом.}$$

Выбираем значение сопротивления, ближайшее из ряда сопротивлений  $R = 1 \text{ кОм}$ .

## **6 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЛЕЧЕБНОГО АППАРАТА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Для аппаратов, реализованных на основе микропроцессоров, контроллеров, компьютерных технологий, необходимо разработать алгоритм и программу работы устройства. Студенту, выполняющему проект, необходимо уделить внимание:

- формализации поставленной задачи;
- разработке алгоритмов работы проектируемой системы;
- разработке программного обеспечения к системе с анализом заданных форматов данных, выбором языка программирования, разработкой программного интерфейса, удобного интерфейса пользователя и т.п.;
- описанию работы разработанного программного обеспечения: его установке, алгоритму работы, примеру использования.

Любая программируемая система выполняет 3 основные функции: приём данных; логические и арифметические преобразования; выработку управляющих воздействий. Первым шагом разработки аппарата на вычислительной платформе является уточнение целей и задач, которые система должна решать. Затем необходимо как можно подробнее и, по возможности, математически строго уточнить все логические связи между причинами и следствиями. Желательно алгоритм иметь примерно в таком виде: если кнопка А нажата и контакты электрического реле В замкнуты, то должна включиться сигнальная лампочка Н и заработать насос, подающий анестезию пациенту. При этом необходимо учитывать возможности микропроцессорной системы управления. Этапы разработки ЭЛА на основе вычислительных программируемых средств следующие:

1 Выработка базовой концепции, т.е. общих представлений, первичной идеи, определяющей принцип действия и метод реализации системы.

2 Разработка алгоритма, т.е. набора процедур, четкой последовательности действий, выполнение которых дает требуемый результат.

3 Проектирование аппаратных средств.

4 Разработка рабочих программ.

На этапе выбора базовой концепции необходимо сделать предварительное распределение логических действий между аппаратными и программными средствами и решить, как практически будут использоваться выходные данные системы. Следующим шагом является определение того, как все необходимые действия реализовать последовательным методом. В результате должна быть разработана диаграмма потока информации и установлены основные требования к микропроцессору. После этого можно разрабатывать алгоритм. Даже для относительно простой системы управления трудно разработать алгоритм, охватывающий сразу все детали. Поэтому рекомендуется использовать три последовательных уровня детализации алгоритма: концептуальная схема, функциональ-

ная схема, структурная схема машинных команд. Концептуальная блок-схема алгоритма показывает, что должно быть сделано. На этой стадии требуется иметь не очень много функциональных блоков. В качестве примера на рисунке 6.1 показана схема работы электротерапевтического аппарата с обратной связью.

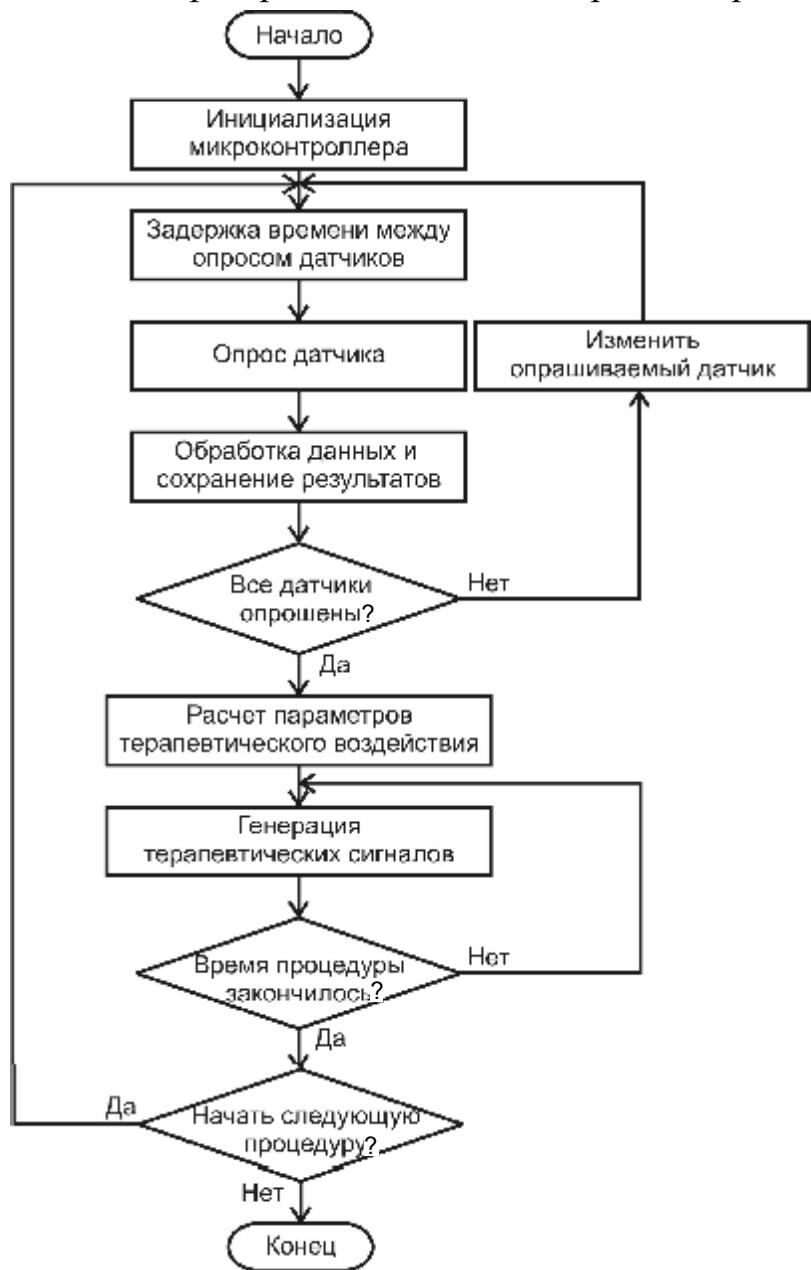


Рисунок 6.1 – Концептуальная блок-схема алгоритма работы электротерапевтического аппарата с программным опросом датчиков

На функциональном уровне разработки алгоритма каждый блок концептуальной блок-схемы расширяется до такой степени, чтобы показать отдельные шаги, которые требуется совершить для достижения желаемого результата. Различные алгоритмы могут устанавливать различные пути решения одной и той же задачи. При выборе той или иной формы записи для решения конкретной проблемы могут использоваться различные критерии: заданный набор операций (машинных команд), удобство адресации, возникающие временные задержки. После завершения разработки функциональной схемы алгоритма тре-

буется выяснить специфику характеристик микроконтроллера (или другого вычислительного средства) для того чтобы определить его конструктивные особенности и выбрать микропроцессорный комплект. Набор команд выбранного контроллера является основой для разработки структурной схемы машинных команд. За этой схемой следует только кодирование команд. Таким образом, ключом для успешного применения контроллеров является разработка функциональной схемы алгоритма.

Выбор микроконтроллера производится на этапе структурно-логического проектирования управляющей микропроцессорной системы. До этого на этапе системного проектирования уже должны быть разработаны функциональная схема алгоритма работы блока на базе микроконтроллера и функциональная схема аппаратной части. Из этой документации могут быть взяты данные, необходимые для обоснования выбора контроллера. Выбор контроллера основывается на следующих данных:

- 1 Функциональные возможности БИС, которые могут быть использованы для построения законченного управляюще-вычислительного устройства.
- 2 Разрядность данных в контроллере.
- 3 Объем адресуемой памяти, который складывается из объема ОЗУ и ПЗУ.
- 4 Количество обслуживаемых внешних устройств и методы обмена данными.
- 5 Производительность, определяющая время выполнения необходимых вычислительных и обменных операций.
- 6 Конструктивно-технологические и энергетические характеристики (тип корпуса, напряжение источников питания, потребляемая мощность, климатические требования).

### ***Пример разработки программы генерации сигналов синусоидально-модулированных токов (СМТ) в среде MathCad***

**Синусоидально модулированные токи** – это переменные электрические токи, используемые для электростимуляции нервно-мышечного аппарата, частотой 2–10 КГц, модулированные по амплитуде. Синусоидально-модулированное колебание может быть записано в виде:

$$x = A_0 (1 + m \sin \Omega t) \sin (\omega t + j), \quad (6.1)$$

где  $A_0$  и  $\omega=1/T$  – амплитуда и частота исходного колебания,

$\Omega = 1/\tau$  – частота модуляции, а величина  $m$  называется глубиной модуляции и характеризует степень изменения амплитуды:

$$m = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min}). \quad (6.2)$$

Программная генерация заключается в создании массива данных, который при выводе его через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) будет представлять собой сигнал с заданными параметрами. Ниже приводится расчет массива данных синусоидального сигнала со следующими параметрами:

частота  $f$  – 2000 Гц, длительность сигнала ( $T_1$ ) – 2 с,

частота дискретизации  $f_d$  – 48 000 Гц, разрядность ЦАП – 16 бит.

Рассчитаем длину массива:  $L = T1 f_d = 96\ 000$  элементов.

Формула расчета элементов массива для синусоидальных колебаний выглядит следующим образом:

$$X_i = \sin(i(2\pi f / f_d)), \quad (6.3)$$

где  $X_i$  – значение  $i$ -го элемента массива,  
 $i$  – порядковый номер элемента массива,  
 $f$  – частота колебаний,  
 $f_d$  – частота дискретизации.

Так как разрядность выходного ЦАП будет составлять 16 бит, то максимально возможные числа на выходе ЦАП будут:  $2^{(16-1)} - 1 = 32\ 767$  (положительное) и  $-32\ 768$  (отрицательное).

Максимальная амплитуда рассчитанного по формуле (6.3) синусоидального сигнала изменяется от  $-1$  до  $1$ . Следовательно, для того чтобы уровень сигнала соответствовал выходному уровню ЦАП, необходимо увеличить амплитуду до максимального значения:

$$X: = X(2^{(16-1)} - 1). \quad (6.4)$$

Далее следует округлить полученные числа до целых значений, сделать экспорт полученных данных в нужный формат.

В среде MathCad расчет выглядит следующим образом (рисунок 6.2):

Частота дискретизации :  $Fd := 48000$       Разрядность ЦАП:  $razr := 16$

Период посылки :  $T1 := 2$       Несущая частота :  $F := 2000$

$h := T1 \cdot Fd$       - вычисление длины массива       $h = 9.6 \times 10^4$

$i := 0..h - 1$       - задание цикла от 0 до последнего элемента массива

$U_i := \sin\left[i \left( \pi \cdot 2 \cdot \frac{F}{Fd} \right)\right]$       - расчет значений элементов массива

$U := U \cdot (2^{razr-1} - 1)$       - масштабирование элементов под разрядность ЦАП

$U := \text{ceil}(U)$       - округление получившихся чисел до целых значений

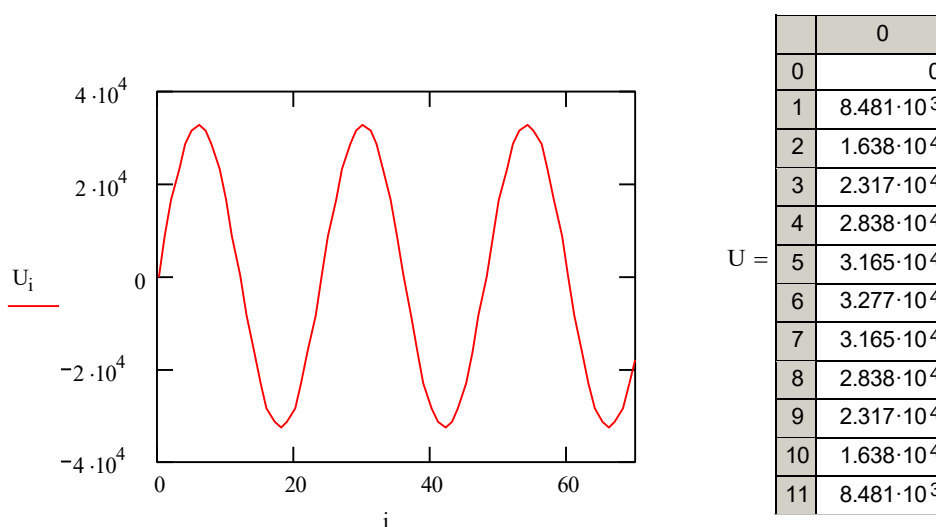


Рисунок 6.2 – Программа генерации сигналов СМТ в среде MathCad

Часто при синтезе сложных сигналов (например при сложении нескольких гармоник) заранее неизвестна максимальная амплитуда сигнала. Тогда поступают следующим образом: из всего массива данных находят максимальный (минимальный) элемент. Затем рассчитывают коэффициент масштабирования по следующей формуле:

$$K = (\text{MAX}_{\text{цалп}} - 1) / X_{\text{max}}, \quad (6.5)$$

где  $\text{MAX}_{\text{цалп}}$  – максимально возможное число, преобразовываемое цифро-аналоговым преобразователем,

$X_{\text{max}}$  – абсолютное значение (модуль) максимального (минимального) элемента массива полученных данных.

Значение каждого элемента массива умножается на полученный коэффициент и затем округляется.

## **7 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА**

### **7.1 Особенности проектирования электронной лечебной аппаратуры**

Процесс проектирования в общем виде можно описать как осознанную мыслительную и творческую деятельность разработчика, базирующуюся на синтезе и анализе принимаемых решений и направленную на получение законченного изделия в виде конструкторской документации, макета или образца, изготовленных с помощью современных информационных, программных и технологических средств.

При разработке электронной лечебной аппаратуры необходимо учитывать ее специфику: подключение непосредственно к человеку, в том числе и инвазивно. Поэтому к ЭЛА предъявляют особые требования по электробезопасности, применяемым материалам, надежности и т.п.

При проектировании ЭЛА необходимо дополнительно предусматривать элементы сигнализации, указывающие на включение той или иной цепи аппарата, использовать средства автоматики, позволяющие исключить опасное воздействие на пациента из-за неисправности или неграмотной эксплуатации аппаратуры.

Для обеспечения повышенных требований к электробезопасности ЭЛА держатели предохранителей и вывод шнура питания необходимо размещать на диэлектрических панелях, при напряжении питания свыше 42 В должны применяться сетевые выключатели, обеспечивающие изоляцию пользователя аппаратуры от металлических или других токопроводящих конструкций.

В ЭЛА желательно применение элементной базы с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Отдельные функциональные узлы (преобразователи напряжения, источники питания, операционные усилители с гальванической развязкой и т.п.) выпускаются в специальном исполнении для изделий медицинского назначения.

Для ЭЛА особые требования предъявляются и к эргономике: алгоритмы работы, обозначения на передних панелях аппаратов, вид и содержание меню управления и т.п. должны быть максимально понятными и простыми, т.к. с медицинской техникой в основном работает персонал, не имеющий технического образования. Необходимо также учитывать и то, что эксплуатация ЭЛА возможна в особых условиях: в состоянии стресса обслуживающего персонала, в непригодных помещениях и т.п.

## 7.2 Компоновочный расчет

Под компоновкой электронной лечебной аппаратуры понимается процесс размещения комплектующих модулей, изделий электронной техники (ИЭТ) и деталей ЭЛА 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 взаимодействия, 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. Ниже приведена методика расчета.

1 Определяется суммарная площадь, занимаемая всеми ИЭТ:

$$S_C = \sum_{i=1}^n S_{yi}, \quad (7.1)$$

где  $n$  – количество элементов,

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

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

$$S_{пл} = \frac{S}{(k_3 \cdot m)}, \quad (7.2)$$

где  $k_3$  – 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, особенностей дизайна устройства и т.п. Третий размер определяется с учетом максимально высоких элементов, размещаемых на плате, и размеров, обусловленных особенно-

стью разрабатываемой конструкции (способ крепления платы в корпусе, толщина корпуса, наличие дополнительных деталей на корпусе и т.п.).

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

1 Определяется суммарный объем, занимаемый всеми ИЭТ и деталями:

$$V_c = \sum_{i=1}^n V_{1i} + \sum_{j=1}^m V_{2j}, \quad (7.3)$$

где  $V_{1i}$  – значение объема  $i$ -го ИЭТ,  
 $V_{2j}$  – значение объема  $j$ -й детали,  
 $n$  – количество ИЭТ,  
 $m$  – количество деталей.

2 Оценивается приблизительный объем всего устройства:

$$V_y = \frac{V_c}{K_{3y}}, \quad (7.4)$$

где  $K_{3y}$  – коэффициент заполнения устройства по объему (0,2–0,6).

3 По вычисленному объему всего устройства определяются его приблизительные габаритные размеры.

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

### 7.3 Расчет надежности

Надежность является одним из свойств, которые определяют качество электронной аппаратуры (ЭА), в том числе и электронной лечебной аппаратуры.

Выделяют два этапа оценки надежности блоков ЭЛА:

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

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

**Расчеты выполняются при следующих допущениях:**

а) отказы элементов случайны и независимы;

б) для элементов справедлив экспоненциальный закон надежности;

в) принимаются во внимание только внезапные отказы, т.е. вероятность с точки зрения отсутствия постепенных отказов равна единице;

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

д) **при уточненном расчете** электрический режим и условия эксплуатации элементов учитываются более точно, чем при ориентировочном расчете, и, кроме того, принимаются во внимание конструктивные элементы устройства (шасси, корпус провода и т.п.).

В настоящее время для высоконадежных элементов для оценки интенсивности отказов используют расчет и прогнозирование, принимая во внимание структурную сложность таких элементов и опыт эксплуатации аналогичных элементов. Интенсивность отказов ( $\lambda$ ) современных элементов находится в диапазоне  $10^{-10} \dots 10^{-5}$  1/ч. Для зарубежных компонентов в качестве размерности величины  $\lambda$  используют процент на 1000 ч работы, что равносильно введению множителя  $10^5$ . Интенсивность отказов на каждый конкретный элемент обычно указывается в технической документации предприятия-изготовителя. Для учебных целей можно воспользоваться таблицей приложения В или учебной литературой, например [10]. Необходимо учитывать, что для элементов коммутации интенсивность отказов задается на один контакт кнопки, реле и т.п., штырь разъема, контактную группу переключателя и на метр длины монтажного или соединительного провода при номинальном токе (плотности тока).

При расчетах надежности необходимо учитывать то, что для поверхностно-монтажных (SMD) компонентов интенсивность отказов обычно ниже в несколько раз. Надежность ИМС слабо зависит от степени интеграции, т.к. максимальный вклад в ее ненадежность вносят корпус и соединения внутри него.

Надежность элементов зависит также от коэффициентов электрической нагрузки:

$$K_H = F_{РАБ} / F_{НОМ} , \quad (7.5)$$

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

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

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

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

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

Справочные значения интенсивностей отказов элементов соответствуют  $K_H = 1$  и нормальным (лабораторным) условиям эксплуатации. На практике выби-

рают режимы работы ЭЛА с  $K_H < 1$  для ее элементов, а условия эксплуатации – более жесткие. Поэтому необходимо производить перерасчет справочных значений интенсивностей отказов с учетом реального коэффициента нагрузки и условий эксплуатации. Для перерасчета интенсивностей отказов пользуются выражением

$$\lambda(v) = \lambda_0 \cdot \varphi(x_1, \dots, x_n), \quad (7.6)$$

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

$\lambda_0$  – справочное значение интенсивности отказов,

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

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

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n \alpha(x_i), \quad (7.7)$$

где  $\alpha(x_i)$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние фактора  $x_i$ ,  
 $n$  – количество факторов.

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

На практике оценка показателей надежности проектируемой ЭЛА выполняется в предположении, что элементы в ней с точки зрения надежности соединены последовательно, их отказы случайны и независимы, используется экспоненциальный закон надежности элементов.

При курсовом проектировании необходимо выполнить расчет надежности **всего устройства**. В данном пособии в качестве примеров приведены расчеты отдельных блоков.

### **7.3.1 Ориентировочный расчет показателей безотказности выходного каскада, работающего в составе электромиостимулятора (рисунок 5.2)**

Данный расчет надежности выполняется на ранней стадии проектирования. В качестве исходных данных выступают условия эксплуатации (наземные стационарные) и заданное время работы блока ( $t_3 = 1000$  ч). Предполагается, что электромиостимулятор будет изготовлен с использованием печатного монтажа.

#### **Решение**

1 Сформируем группы однотипных элементов и для каждой группы по справочникам (см. приложение В) определим значение интенсивностей отказов, соответствующее в среднем элементам каждой группы. Для резисторов выбираем значение интенсивности отказов, соответствующее мощности рассеивания менее 0,5 Вт при переменном токе. Аналогично выбираются значения интен-

сивностей отказов для керамических конденсаторов и остальных элементов (таблица 7.1). Число паек можно определить как суммарное число выводов элементов и внешних выводов блока ЭЛА с учетом того, что монтаж будет выполняться в металлизированные отверстия печатной платы.

Таблица 7.1 – Ориентировочный расчет надежности

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

2 С помощью обобщенного эксплуатационного коэффициента, найденного по справочным таблицам (таблица 7.2) для наземных стационарных условий, скорректируем величину  $\lambda_{\Sigma}$ , учтя тем самым приближенно электрический режим и условия работы элементов каскада.

Таблица 7.2 – Значение обобщенного эксплуатационного коэффициента  $K_3$

Вид ЭЛА, условия эксплуатации	Значение $K_3$
Лабораторные условия	1,0
Помещения с регулируемой температурой и влажностью	1,1
Наземные стационарные условия	2...4,7 (2,5)
Наземные возимые ЭЛА	4...7 (5,0)
Наземные переносимые ЭЛА	7...15 (7,0)
Морские защищенные условия	7...12 (7,6)

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

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

а) наработка блока ЭЛА на отказ

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

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

б) вероятность безотказной работы за время  $t_3 = 1000$  ч:

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

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

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

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

**7.3.2 Уточненный расчет показателей безотказности и ремонтпригодности каскада ЭЛА**, рассмотренного в 7.3.1. Параметры элементов:  $R1, R9 = 6,4 \text{ кОм} \pm 10$  %;  $R2, R7 = 470 \text{ Ом} \pm 10$  %;  $R3, R8 = 16 \text{ кОм} \pm 10$  %;  $R4, R6 = 4,1 \text{ Ом} \pm 10$  %,  $R5 = 20 \text{ Ом} \pm 10$  %;  $C1, C4 = 7500 \text{ пФ} \pm 20$  %,  $C2, C3 = 5600 \text{ пФ} \pm 20$  %.

Для сборки каскада использован печатный монтаж в металлизированные отверстия. Тип выбранных резисторов: С2-23 с номинальной мощностью рассеивания  $P_{\text{ном}} = 0,125$  Вт и допуском на сопротивление  $\pm 10$  %. Тип выбранного конденсатора: К10-17 с напряжением  $U_{\text{ном}} = 40$  В. Тип транзисторов: VT1, VT6 – КТ520А; VT2, VT3 – КТ521А; VT3, VT5 – КТ969А. В качестве выходной вилки X1 используется оригинальное изделие с двумя контактными группами. Напряжение источника питания  $U_{\text{пит}} = 200 \text{ В} \pm 10$  %. Каскад используется в составе ЭЛА, для которого характерны следующие условия эксплуатации:

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

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

### **Решение**

1 Определяется коэффициент электрической нагрузки и рабочая температура всех элементов выходного каскада электромиостимулятора (см. таблицы 5.1–5.4).

При расчете схемы электрической принципиальной и выборе элементной базы, определение значений коэффициентов электрической нагрузки и рабочей температуры для выбранных элементов выходного каскада в учебных целях допускается проводить методом экспертных оценок.

Значения коэффициентов электрической нагрузки и температура элементов внесены в таблицу 7.3.

2 Формируем группы однотипных элементов.

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

Резисторы  $R1, R3 \dots R6, R8, R9$  включаем в одну группу, так как для них  $K_{\text{н}} < 0,1$ . Самостоятельные группы составляют точки паяк, а также плата печатная.

3 Определяем суммарную интенсивность отказов элементов выходного каскада электромиостимулятора и результаты расчетов заносим в таблицу 7.3. При этом справочные значения интенсивностей отказов элементов каждой группы находим по таблице максимальных значений интенсивностей отказов элементов (см. приложение В), а поправочные коэффициенты  $\alpha_{\Sigma}$ , учитывающие влияние коэффициентов электрической нагрузки и температуры, определяем по номограммам (см. приложение Г).

Таблица 7.3 – Уточненный расчет надежности

Группа элементов	Количество элементов в группе ( $n_j$ )	Справочное значение $\lambda_{0j} \times 10^{-6}$ 1/ч	Коэффициент электрической нагрузки ( $K_{нj}$ )	Расчётная рабочая температура элемента, °С	Произведение поправочных коэффициентов ( $\alpha_{\Sigma}$ )	Значение $\lambda_0(v) \times 10^{-6}$ 1/ч	Значение $\lambda_0(v) \times n_j \times 10^{-6}$ 1/ч
VT1, VT6	2	0,60*	0,67	58	1,3	0,78	1,56
VT2, VT4	2	0,60*	0,67	58	1,3	0,78	0,78
VT3 VT5	2	0,50	0,80	69	2,5	1,25	2,5
R2, R7	2	0,10	0,54	69	1,1	0,11	0,22
R1, R3...R6, R8, R9	7	0,10	<0,1	58	0,15	0,015	0,11
C1, C4	2	0,05	0,10	58	0,07	0,004	0,008
C2, C3	2	0,05	0,13	58	0,07	0,004	0,008
X1	1	0,70**	0,50	58	1,6	1,12	1,12
Плата печатная	1	0,2	–	58	1,0	0,2	0,2
Пайка	46	0,04****	–	58	3,0	0,12	5,52
$\Sigma$							$\approx 12,1$

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

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

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

Возможно вычисление поправочных коэффициентов  $\alpha_{\Sigma}$  по формуле (7.7) с учетом данных приложения Д.

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

4 Определяем наработку блока на отказ:

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

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

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

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

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

7 Подсчитываем среднее время восстановления  $T_B$ . Расчет величины  $T_B$  с использованием справочных значений интенсивностей отказов элементов и таблицы 7.3 сведен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Расчет показателей ремонтпригодности

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

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

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

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

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

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

Более подробно с методикой расчета надежности и восстанавливаемости блоков ЭЛА можно ознакомиться в [10, 11] и ГОСТ 27.301-95.

#### 7.4 Автоматизированный расчет надежности модулей электронной лечебной аппаратуры

В настоящее время существует множество различных пакетов для автоматизированного расчета надежности электронной аппаратуры. Для расчета надежности ЭЛА наиболее подходящей является программа «**Автоматизированная система расчета надежности**» (АСРН), разработанная российскими специалистами на основании руководящих методических документов для техники военного назначения. Она позволяет рассчитывать суммарную интенсивность отказов модулей 1-го и 2-го уровней без резервирования, укомплектованных отечественными и импортными электрорадиоизделиями (ЭРИ) в режиме экс-

платуации и хранения (только для отечественных ЭРИ) в составе подвижных и неподвижных объектов.

На рисунке 7.1 представлено главное окно программы, появляющееся при загрузке системы.

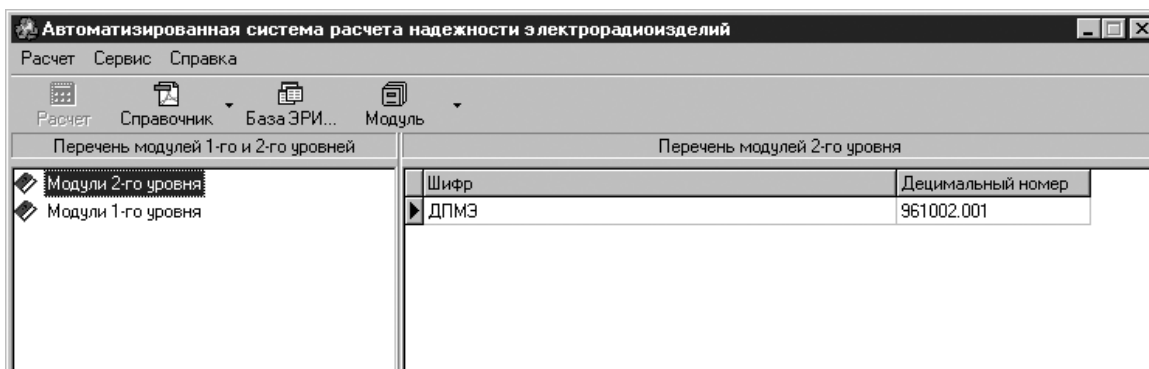
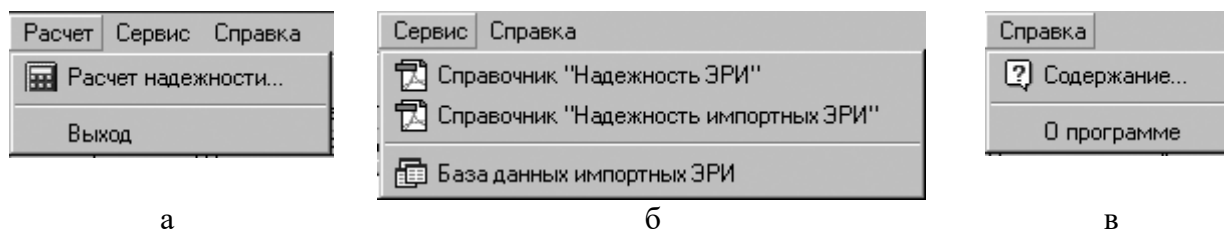


Рисунок 7.1 – Главное окно программы

Конструктивно главное окно состоит из главного меню, панели инструментов, дерева модулей 1-го и 2-го уровней и сеток отображения данных по выбранному модулю или ЭРИ.

Главное меню (рисунок 7.2) состоит из 3-х пунктов: **Расчет**, **Сервис** и **Справка**:



а

б

в

а – **Расчет**; б – **Сервис**; в – **Справка**

Рисунок 7.2 – Главное меню программы

**Расчет надежности...** – вызов на экран окна ввода общих исходных данных для расчета и установки режима отчета. Пункт активен только при выборе конкретного модуля;

**Выход** – выход из АСРН;

**Справочник «Надежность ЭРИ»** – вызов справочника «Надежность ЭРИ» в окне программы просмотра PDF-документов *Acrobat Reader*;

**Справочник «Надежность импортных ЭРИ»** – вызов справочника о порядке расчета надежности импортных ЭРИ (на базе методики MIL-HDBK-217F) в окне программы просмотра PDF-документов *Acrobat Reader*;

**База данных импортных ЭРИ** – вызов окна для заполнения корпоративной базы импортных ЭРИ;

**Содержание...** – визуализация справочной информации по правилам работы с системой.

Панель инструментов (рисунок 7.3) состоит из набора кнопок, большая часть которых (кроме кнопки **Модуль**) повторяют основные пункты главного меню.

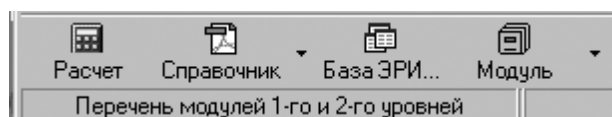


Рисунок 7.3 – Панель инструментов

При нажатии на кнопку **Модуль** появляется всплывающее меню, пункты которого зависят от того, модуль какого уровня или ЭРИ выбран в дереве модулей или сетке отображения данных. Полный перечень пунктов меню приведен ниже (рисунок 7.4).

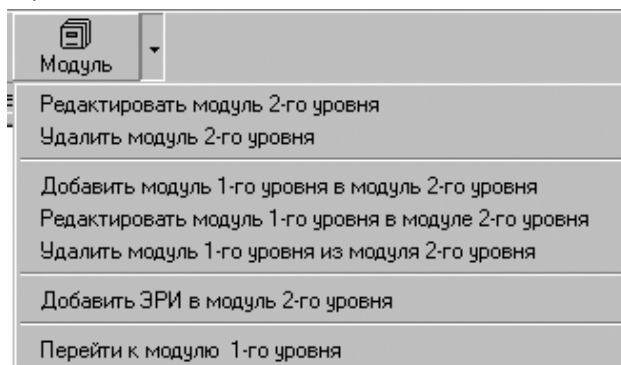


Рисунок 7.4 – Меню **Модуль**

Первая группа пунктов меню предназначена для создания, редактирования и удаления модуля 2-го уровня.

Вторая группа предназначена для создания, удаления и редактирования модуля 1-го уровня в составе модуля 2-го уровня.

Третья группа предназначена для добавления, редактирования и удаления ЭРИ в модуле 2-го уровня.

Четвертая группа предназначена для перехода к модулю 1-го уровня при нахождении его в модуле 2-го уровня.

#### **7.4.1 Пример расчета надежности модуля 2-го уровня**

Необходимо рассчитать суммарную интенсивность отказов микропроцессорного блока управления (рисунок 7.5).

Блок управления с десятичным номером БГУИ.943010.001 можно отнести к модулю 2-го уровня, состоящего из модуля 1-го уровня (Плата1 БГУИ.943011.001, схемная позиция в составе блока – А1), соединитель типа РБН1 (XS1) для электрической связи платы с клавиатурой и пяти кнопок типа SKHNAH (SA1..SA5).

Модуль первого уровня Плата1 содержит следующие ЭРИ:

- два конденсатора K10-17-2a-M1500-18пФ±10 % (C1-C2);
- интегральную микросхему PIC16F872/72A (DD1);
- диод Д522В (VD1);
- реле электромагнитное FRT5S-DC5V (K1);
- резистор P1-8-0,25-100 Ом±10 % (R1);
- пять резисторов P1-12-0,125-10 кОм±10 % (R2..R6);
- транзистор КТ815Г (VT1);
- резонатор HC-49SM (ZQ1).

Общие исходные данные: расчет провести в режиме эксплуатации, группа аппаратуры – 3.3, температура – 25 °С.

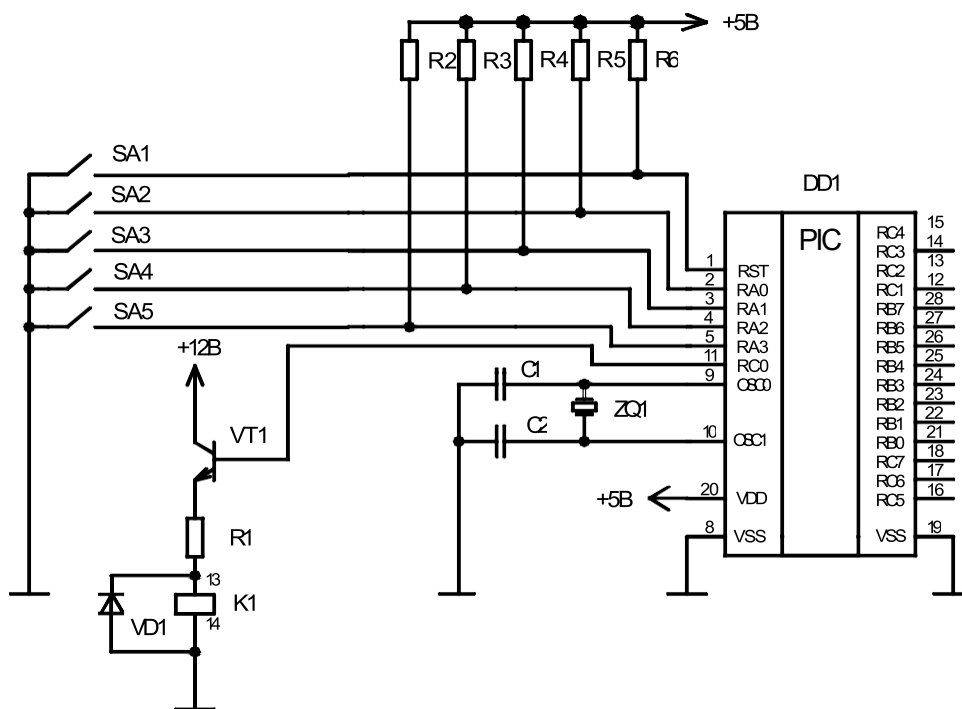


Рисунок 7.5 – Микропроцессорный блок управления

### Решение

1 Создаем модуль 1-го уровня Плата1. Для этого в дереве модулей выбираем узел **Модули 1-го уровня**, нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Создать модуль 1-го уровня**. В появившемся окне вводим шифр Плата1 и десятичный номер БГУИ.943011.001 платы, нажимаем на кнопку **ОК**. Модуль создан.

В дереве модулей выбираем узел **Модули 1-го уровня** и раскрываем его двойным нажатием на левую кнопку мыши. В раскрытом узле находим модуль Плата1 и выделяем его (рисунок 7.6).

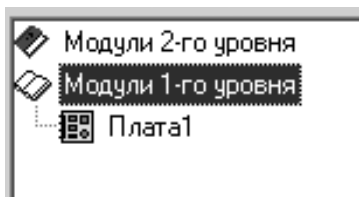


Рисунок 7.6 – Выбор модуля Плата1 для редактирования

Добавляем в созданный модуль Плата1 поочередно все ЭРИ.

Во-первых, добавляем два конденсатора К10-17-2а. Для чего при выделенном модуле Плата1 нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Добавить ЭРИ в модуль 1-го уровня**. В появившемся окне в дереве *класс-группа-тип* раскрываем иерархию: *отечественная элементная база* → *конденсаторы* → *керамические на номинальное напряжение менее 1600 В* → *К10-17а* или ищем ЭРИ, нажав на кнопку **Поиск**. Вводим все параметры ЭРИ (напряжение пита-

ния и вид приемки), схемную позицию (С1-С2) и количество (2) (рисунок 7.7). Нажимаем **ОК** – два конденсатора добавлены в модуль Плата1.

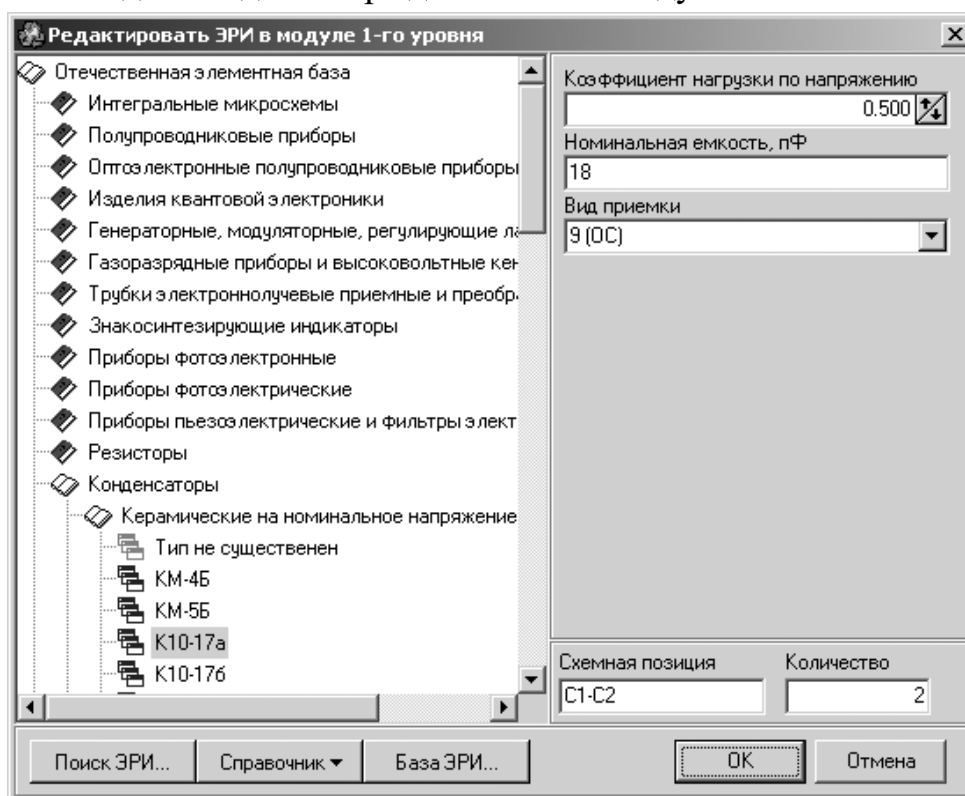


Рисунок 7.7 – Диалоговое окно **Редактировать ЭРИ в модуле 1-го уровня:**  
вставка отечественных ЭРИ

Во-вторых, вносим интегральную микросхему PIC16F872/72A (DD1) в модуль Плата1. Для чего при выделенном модуле Плата1 нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Добавить ЭРИ в модуль 1-го уровня**. В появившемся окне в дереве *класс-группа-тип* раскрываем иерархию: *импортная элементная база* → *интегральные микросхемы* → *микропроцессоры МОП-технологии* → *тип не существует*. Далее указываем параметры требуемой микросхемы (коэффициент нагрузки, функциональный режим работы, нагрузку по напряжению, вид приемки), схемную позицию (DD1) и количество (1) (рисунок 7.8). Аналогично добавляем в модуль 1-го уровня Плата1 остальные элементы.

2 Создаем модуль 2-го уровня Блок управления. Для этого в дереве модулей выбираем узел **Модули 2-го уровня**, нажимаем на кнопку «**Модуль**» и выбираем пункт **Создать модуль 2-го уровня**. В появившемся окне вводим шифр Блок 1 и десятичный номер БГУИ.943010.001 блока. Нажимаем на кнопку **ОК** – модуль Блок 1 создан.

Далее необходимо внести в модуль Блок 1 его составляющие. В дереве модулей выбираем узел **Модули 2-го уровня** и раскрываем его двойным нажатием на левую кнопку мыши. В раскрытом узле находим модуль Блок управления и выделяем его. Затем добавляем в Блок управления модуль Плата 1. Для этого при выделенном модуле Блок управления нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Добавить модуль 1-го уровня в модуль 2-го уровня**, в появившемся окне выбираем модуль 1-го уровня Плата1, указываем схемную позицию

(A1) и количество модулей (1) (рисунок 7.9), нажимаем на кнопку **ОК**. Модуль Плата1 добавлен в модуль Блок управления.

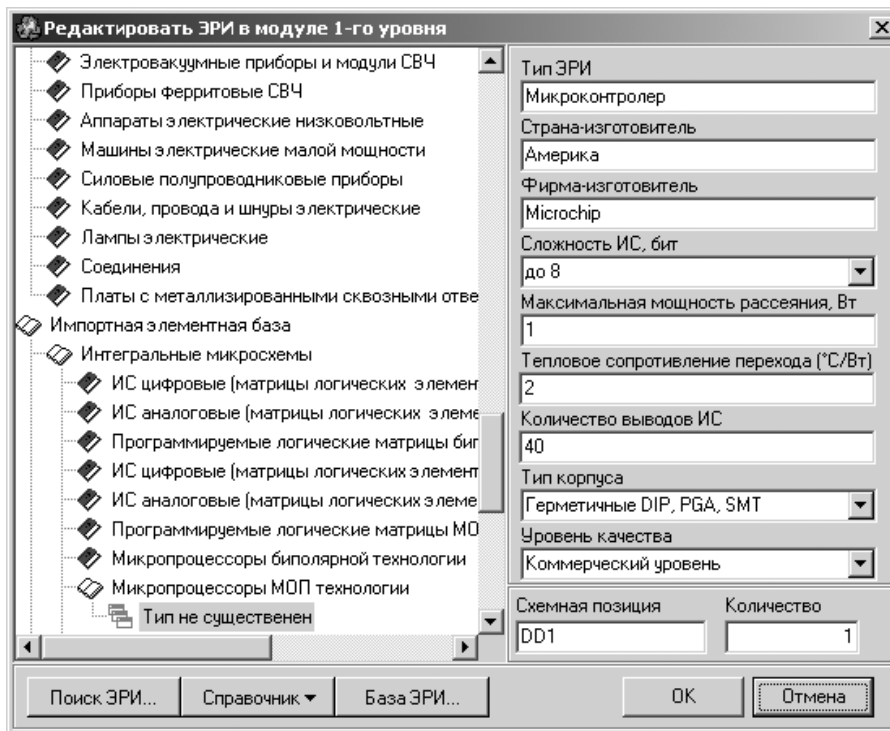


Рисунок 7.8 – Диалоговое окно **Редактировать ЭРИ в модуле 1-го уровня**: вставка импортных ЭРИ

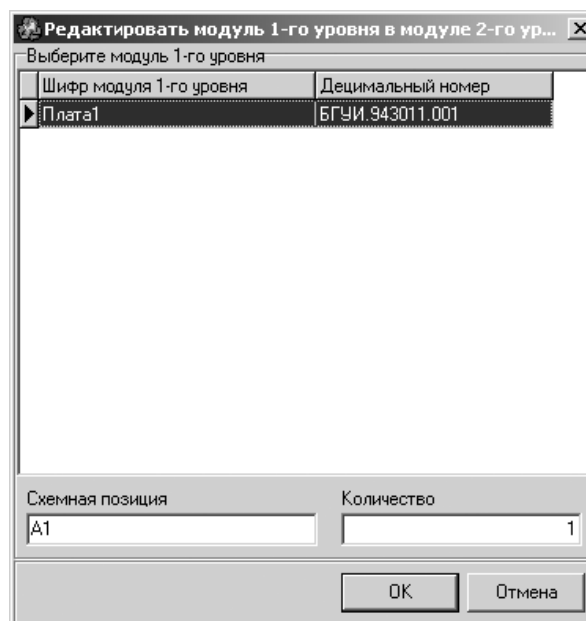



Рисунок 7.9 – Диалоговое окно **Редактировать модуль 1-го уровня в модуле 2-го уровня**

Добавляем в Блок управления соединитель РБН1. Для чего при выделенном модуле Блок управления нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Добавить ЭРИ в модуль 2-го уровня**, в появившемся окне в дереве *класс-группа-тип* раскрываем иерархию: *отечественная элементная база* → *соединители низкочастотные и радиочастотные* → *соединители низкочастотные*

цилиндрические для объемного монтажа нормальных габаритов → РБН1 или ищем ЭРИ, нажав на кнопку **Поиск**. Вводим все параметры ЭРИ (коэффициент нагрузки по току, количество задействованных контактов, количество сочленений-расчленений, вид приемки), схемную позицию (XP1) и количество (1), нажимаем **ОК**.

Добавляем в Блок управления пять кнопок. Для чего при выделенном модуле Блок управления нажимаем на кнопку **Модуль** и выбираем пункт **Добавить ЭРИ в модуль 2-го уровня**. В появившемся окне в дереве **класс-группа-тип** раскрываем иерархию: *отечественная элементная база* → *соединители низкочастотные и радиочастотные* → *коммутационные изделия* → *кнопки и кнопочные переключатели* → *тип не существует*. Далее устанавливаем параметры кнопок (коэффициент нагрузки по току, количество задействованных контактов, количество сочленений-расчленений, вид приемки), схемную позицию (SA1-SA5) и количество (5) и нажимаем **ОК**. Все ЭРИ модуля второго уровня внесены.

Выбираем Блок1 и нажимаем на кнопку **Расчет**  на панели инструментов или выбираем пункт меню **Расчет надежности...**

Выбираем основные исходные данные:

- режим – эксплуатации;
- группу аппаратуры – 3.3–3.4;
- температуру окружающей среды – 25 °С.

Отмечаем состав отчета (данные о надежности ЭРИ и (или) коэффициенты моделей) (рисунок 7.10) и нажимаем на кнопку **Просмотр**.

Результат расчета отображается на экране (приложение Ж) и может быть распечатан на принтере при нажатии кнопки **Print**.

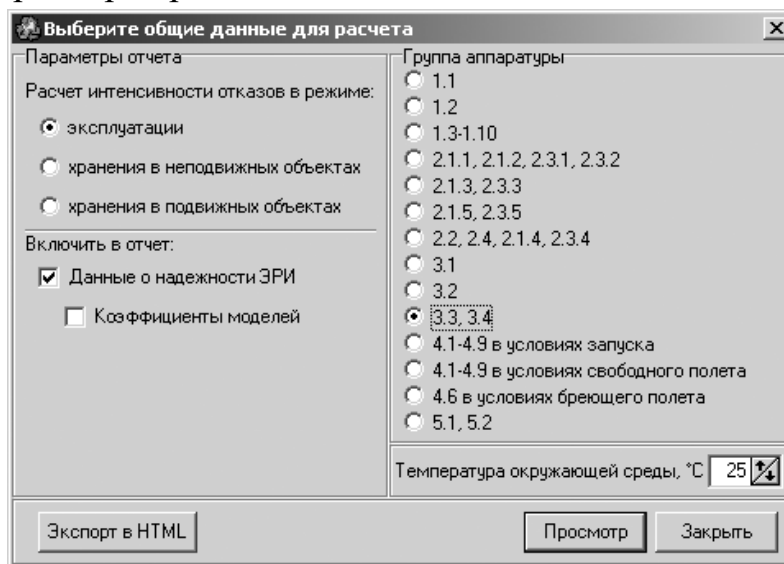


Рисунок 7.10 – Диалоговое окно **Выберите общие данные для расчета**

Полученные результаты необходимо проанализировать, сравнить с исходными данными в задании на курсовое проектирование и, при необходимости, откорректировать схему и (или) конструкцию устройства с целью повышения ее надежности.

## 7.5 Конструирование и расчет печатных плат

Для межконтактных соединений в конструкциях ММУИП 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 ЭЛА, 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 – ±0,15 мм; до 2 мм – ±0,20 мм; до 3 мм – ±0,30 мм.

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

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

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

5 Сопротивление изоляции зависит от материала диэлектрического основания и характера электрических цепей, для стеклотекстолита оно должно быть не менее 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  $U_{раб}$  – до 50 В, для 1 класса  $U_{раб}$  – до 100 В.

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

В соответствии с ГОСТ 10317-79 рекомендуется использовать платы прямоугольной формы, размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными: 2,5; 5 или 10 при длине соответственно до 100, до 350 и свыше 350 мм. Максимальный размер любой из сторон не должен превышать 470 мм, соотношение сторон – не более 3 : 1. Данные ограничения обусловлены в основном возможностями технологического оборудования по изготовлению 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 (Р-CAD, OrCAD и т.п.) в настоящее время является основным.

### **7.5.1 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. Компонировочный 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.

### **7.5.2 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 7.5).

Таблица 7.5 – Группы жесткости печатных плат

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

### 7.5.3 Выбор типа ПП

В зависимости от сложности схемы, реализуемой на ПП, а также руководствуясь 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.

### 7.5.4 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-го по 5-й класс точности (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Классы точности печатных плат

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

\* – 1-й класс в настоящее время практически не используется.

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

### 7.5.5 Выбор размеров и конфигурации ПП

Предварительный выбор размеров и конфигурации ПП выполняется на стадии компоновочного расчета (см. подраздел 7.2).

Размеры и конфигурация ПП определяются конструктивными параметрами блоков ЭЛА более высокой иерархии. При выборе размеров ПП необходимо придерживаться следующего принципа: максимальное количество связей выполнять с помощью печатного монтажа, а также 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 и диаметра отверстий.

Обычно соблюдается правило:

$$H > (2,5-5) \cdot d_0, \quad (7.8)$$

где  $H$  – толщина ПП;

$d_0$  – минимальный диаметр отверстий.

Для ОПП и ДПП толщина определяется

$$H = H_M + n \cdot h_\phi, \quad (7.9)$$

где  $H_M$  – толщина материала основания;

$n$  – количество слоев ПП;

$h_\phi$  – толщина фольги.

Для МПП:

$$H = \sum_{i=1}^n H_{Ci} + (0,6 + 0,9) \sum_{j=1}^{n-1} H_{npj} + 2h_{\Pi}, \quad (7.10)$$

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

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

### 7.5.6 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, лакированные 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 7.7). Они отличаются широким диапазоном рабочих температур, низким (0,2–0,8 %) водопоглощением, высокими значениями объемного и поверхностного сопротивлений, стойкостью к короблению. Смолы определяют практически все электрические и механические характеристики материала (предел прочности, влагопоглощение, сопротивление изоляции, электрическую прочность, диэлектрическую 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-, видеотехники, в автомобилестроении. Обладая всеми свойствами FR2, данный материал обладает повышенными показателями жаро- и влагоустойчивости. Не содержит галогенов и сурьмы.

Таблица 7.7 – Основные материалы для изготовления плат

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

Для защиты контактных площадок и концевых ламелей ПП от внешних воздействий в настоящее время используют различные конструктивные покрытия (таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Толщина различных финишных покрытий

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

В технических требованиях к плате печатной указываются обозначения только конструктивных покрытий, например Хим.М.М24 О-С(61) 10-15 опл,

ПОС 63 12-18 опл (HAL). При использовании в качестве покрытия 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 7.9).

Таблица 7.9 – Защитные паяльные маски

Тип покрытия, производитель	Характеристики, область применения
TAMURA FINEDEL DSR-2200TT 19G (Япония)	Жидкая двухкомпонентная фоточувствительная защитная паяльная маска зеленого цвета. Устойчива к растворителям и очистителям
FSR 8000-8G UNION SOLTEK GROUP (Тайвань)	Маска обладает высокими адгезионными свойствами, слабым запахом, технологична, устойчива к процессам электролитической металлизации (никелирование, золочение), горячего лужения (HAL). Покрытие глянцевого
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 в качестве защитного паяльного резиста, 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

### 7.5.7 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:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (7.11)$$

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 7.10);

$t$  – толщина проводника, мм.

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

$$b_{\min 2} = \frac{I_{\max} \cdot p \cdot l}{U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (7.12)$$

где  $p$  – удельное объемное сопротивление материала (см. таблицу 7.10);

$l$  – максимальная длина проводника, м;

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

Таблица 7.10 – Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

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

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

4 Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий  $d$ :

$$d = d_{\text{э}} + |\Delta d_{\text{н.о}}| + r, \quad (7.13)$$

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

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

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (7.14)$$

где  $h_{\phi}$  – толщина фольги;

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

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left( b_M + d_{\max} + \delta d + \delta p \right) \quad (7.15)$$

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 7.11);

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

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (7.16)$$

где  $d$  – допуск на отверстие (см. таблицу 7.11).

Таблица 7.11 – Допуски на расположение отверстий и контактных площадок

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

Минимальный диаметр контактных площадок для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых комбинированным позитивным методом:  
при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03; \quad (7.17)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,08. \quad (7.18)$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,03; \quad (7.19)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{1\min} + 0,08. \quad (7.20)$$

Максимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (7.21)$$

**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:

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi}, \quad (7.22)$$

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

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

при фотохимическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,03; \quad (7.23)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,08. \quad (7.24)$$

Для ДПП и наружных слоев МПП, изготавливаемых электрохимическим методом:

при фотохимическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,03; \quad (7.25)$$

при сеточнографическом способе получения рисунка

$$b_{\min} = b_{1\min} + 0,08. \quad (7.26)$$

Максимальная ширина проводников

$$b_{\min} = b_{1\min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (7.27)$$

7 Определяем минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка.

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l)], \quad (7.28)$$

где  $L_0$  – расстояние между центрами рассматриваемых элементов;

$\delta l$  – допуск на расположение проводников (см. таблицу 7.11).

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} + \delta p)]. \quad (7.29)$$

Минимальное расстояние между двумя проводниками

$$s_{1\min} = L_0 - [(D_{\max} + \delta l)]. \quad (7.30)$$

8 Величина паразитной емкости между двумя проводниками, пФ:

$$C_{\text{пар}} = \frac{0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_n}{\ln \frac{2 \cdot S}{h + t_n}}, \quad (7.33)$$

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:

$$L = 2 \cdot l_n \cdot \left( 2,3 \cdot \frac{l_n}{h + t_n} + 0,2235 \cdot \frac{l_n}{h + t_n} + 0,5 \right) \cdot 10^{-2}. \quad (7.34)$$

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

$$R_s = P_s \cdot \frac{S}{l}, \quad (7.35)$$

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

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

$S$  – изоляционный зазор разобращенных цепей, мм;

$l$  – длина изоляционного зазора, м.

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

$$P_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot tg \delta, \quad (7.36)$$

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

$C$  – емкость печатной платы, мкФ;

$U$  – напряжение питания, В;

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

Емкость печатной платы вычисляют по формуле, пФ:

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot F}{H}, \quad (7.37)$$

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.

### **7.5.8 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° 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 0,3×45°. Все печатные контакты на плате должны иметь износостойчивое покрытие.

### **7.5.9 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 и упрощает процесс разводки проводников, расположенных на разных слоях. Возможно также изменение направления трассы под углом  $45^\circ$  или  $90^\circ$  к первоначальному направлению, а также первоначальные сдвиги относительно выбранного направления. Желательно, однако, чтобы трассы не имели форму лесенки, а по возможности приближались к прямой.

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

#### **7.5.10 Маркировка и контроль**

Маркировка состоит в нанесении *основной* (наносимой обязательно) и *дополнительной* надписей на печатные платы (основная и дополнительная маркировки).

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.*

#### **7.5.11 Оформление КД**

Оформление КД 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 слое МПП чертежи не выпускать, при этом в зависимости от характера производства слои МПП могут учитываться как детали или как материал.

## 8 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛЕЧЕБНОЙ АППАРАТУРЫ

### 8.1 Моделирование электрических схем

Для моделирования работы радиоэлектронных устройств, в частности электронной лечебной аппаратуры, могут использоваться такие пакеты программ, как *Simulink* – расширение математического пакета *MatLab*, *MicroCap*, *Electronics Workbench* и др.

В данном подразделе рассмотрена работа программного комплекса *Electronics Workbench* (рисунок 8.1).

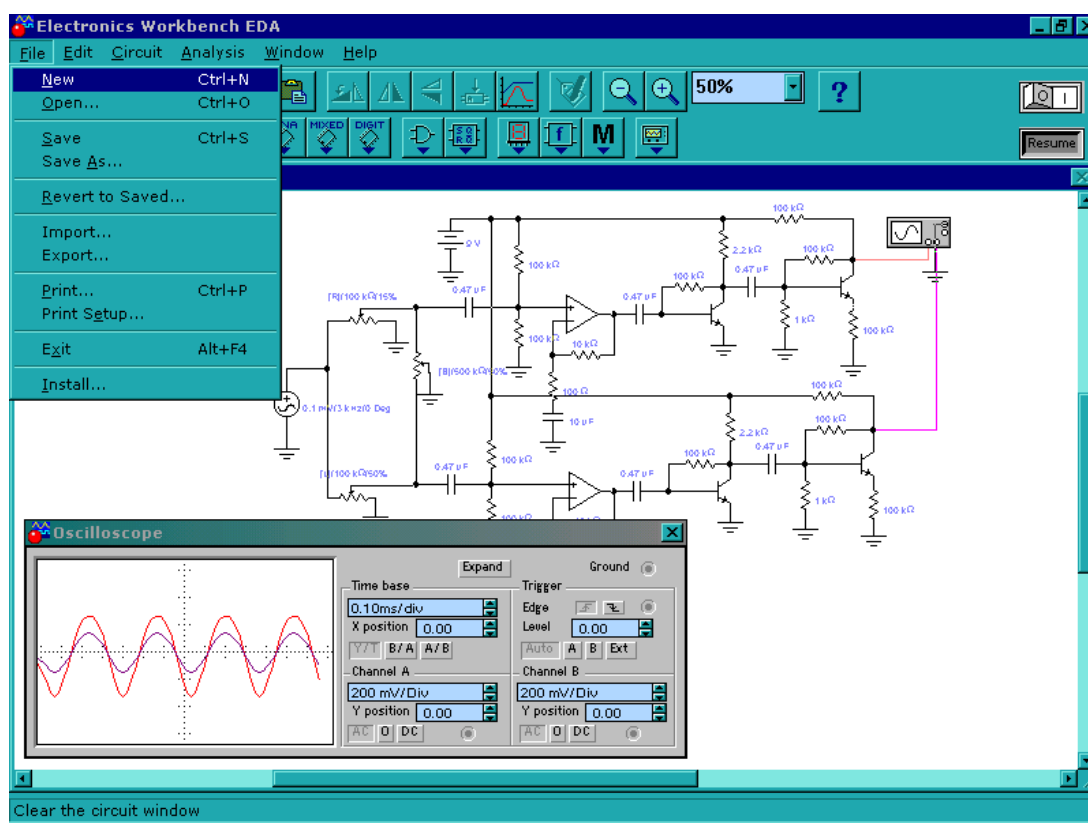


Рисунок 8.1 – Внешний вид экрана программы *Electronics Workbench*

#### 8.1.1 Подготовка к работе *Electronics Workbench*

Для работы с программным комплексом *Electronics Workbench V.5.0 C* необходим IBM-совместимый персональный компьютер с процессором I 486 (рекомендуется Pentium) и операционной системой Windows (рекомендуется Windows 98 и выше).

Для начала работы с программным пакетом необходимо загрузить операционную систему, установить *Electronics Workbench*, если это не было сделано ранее. Затем запустить исполняемый файл WEWB32.EXE. Произвести настройки интерфейса пользователя, если это необходимо.

### 8.1.2 Интерфейс пользователя *Electronics Workbench*

Приложение *Electronics Workbench* представляет собой средство программной разработки и имитации электрических цепей. Интерфейс пользователя состоит из полосы меню, панели инструментов и рабочей области.

Полоса меню состоит из следующих компонент: меню работы с файлами (**File**), меню редактирования (**Edit**), меню работы с цепями (**Circuit**), меню анализа схем (**Analysis**), меню работы с окнами (**Window**), меню работы с файлами справочника (**Help**) (см. рисунок 8.1).

Панель инструментов состоит из «быстрых кнопок», имеющих аналоги в меню, кнопок запуска и приостановки схем, набора радиоэлектронных аналоговых и цифровых деталей, индикаторов, элементов управления и инструментов.

### 8.1.3 Пример моделирования интегрирующей RC-цепи

Для начала разработки необходимо загрузить файл-схему в среду *Electronics Workbench*, если этот файл уже создан и находится на одном из накопителей компьютера. Это делается посредством выполнения команды меню **File/Open** либо нажатием соответствующей «горячей кнопки» на панели инструментов и дальнейшим выбором накопителя, каталога и имени файла. Если же файл еще не создан, необходимо создать его посредством выполнения команды **File/New** и команды **File/Save as**. При выполнении первой команды будет создан новый файл-схема. Вторая команда предназначена для записи файла на накопитель и установки каталога и имени, под которым будет храниться данная схема.

Нанести на рабочую область *Electronics Workbench* модели деталей, необходимые для моделирования данной схемы. Это делается посредством нажатия левой кнопкой мыши на нужном наборе деталей, после чего будет выведено дополнительное окно, включающее в себя детали набора. Выбором соответствующей детали элемент переносится на рабочую область (кнопку мыши необходимо держать нажатой до выбора места расположения элемента). Для выбранного примера необходимы: источник импульсов (**Function Generator**), резистор (**Resistor**), конденсатор (**Capacitor**), осциллограф (**Oscilloscope**) и заземление (**Ground**). Резистор и конденсатор находятся в наборе **Basics**, заземление – в наборе **Sources**, осциллограф и генератор импульсов – в наборе **Instruments**.

Каждый элемент имеет точки соединения, которые необходимо соединить для получения нужной схемы. Это делается выбором контакта левой кнопкой мыши и переносом ее к другому контакту, при этом создается провод, соединяющий их. При необходимости на провод можно нанести узел (**Connector** в наборе **Basics**). Для наглядности можно перенести элементы в необходимые места рабочей области. Это действие осуществляется нажатием на элементе левой кнопкой мыши и переносом при удержанной в нажатом состоянии кнопке. При этом соединительные провода будут перемещены автоматически. При необходимости можно также перемещать провода. На рисунке 8.2 представлен вид интерфейса *Electronics Workbench* после сборки RC-цепи.

Когда схема создана и готова к работе, для начала имитации процесса работы необходимо выполнить команду включения питания на панели инструментов. Данное действие приведет в рабочее состояние схему, и в одном из окон строки состояния будет показываться время работы схемы, которое не соответствует реальному и зависит от скорости процессора и системы персонального компьютера. Поэтому для разработки сложных схем рекомендуется использовать компьютеры не хуже *Pentium II* с тактовой частотой процессора не ниже 266 МГц.

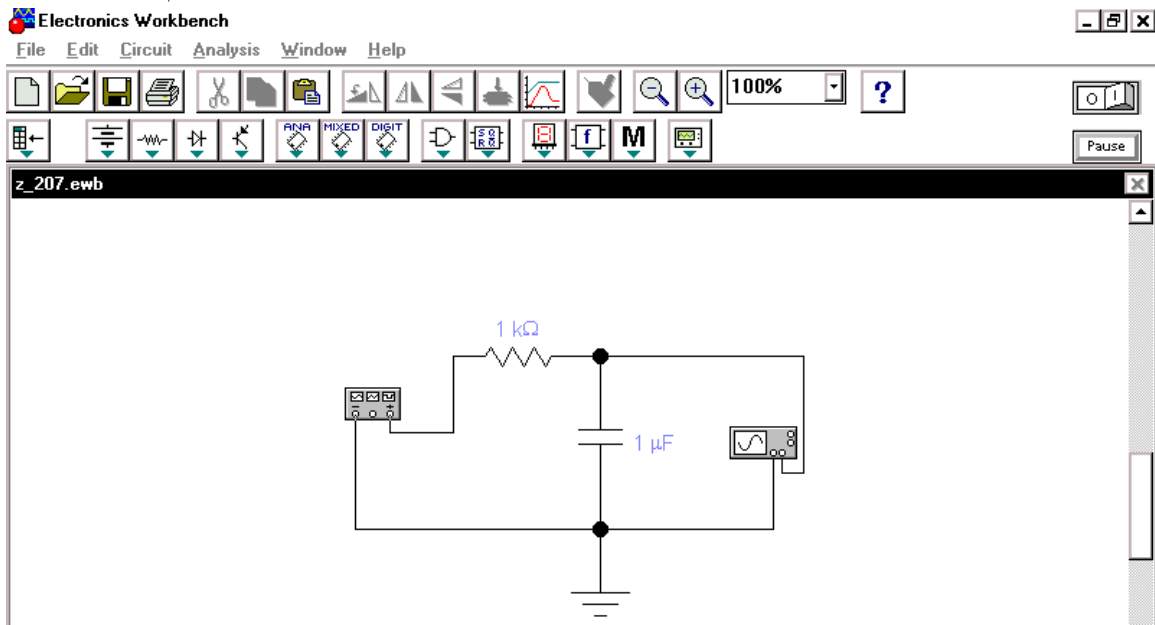


Рисунок 8.2 – RC-цепь в *Electronics Workbench*

Прервать имитацию можно двумя способами. Во-первых, закончить работу и просмотр результатов имитации можно повторным нажатием на кнопку включения питания. Если же нужно временно прервать работу схемы, например, для детального исследования осциллограммы, а затем продолжить работу, можно воспользоваться кнопкой **Pause**, которая также расположена на панели инструментов.

Для анализа результатов моделирования желательно изменять номиналы элементов, выводить и настраивать экраны приборов. В данном случае можно посмотреть осциллограмму на выходе RC-цепи. Для этого нужно вывести окно экрана осциллографа двойным нажатием на компоненте **Oscilloscope** (рисунок 8.3).

При использовании осциллографа в *Electronics Workbench* имеется возможность просмотра сигнала на протяжении всего времени имитации. Для этого можно воспользоваться кнопкой **Expand** и полосами прокрутки изображения. Для перевода панели в нормальный режим используется кнопка **Reduce**. Вид расширенной панели осциллографа показан на рисунке 8.4.

Для изучения свойств RC-цепи можно изменить сигнал на ее входе. Для этого нужно вывести при помощи двойного нажатия кнопкой мыши на компоненте на экран панель генератора импульсов (рисунок 8.5).

При помощи генератора импульсов формируются три вида сигналов: синусоидальный, пилообразный и прямоугольный. В данном случае для анализа

нужен прямоугольный импульс. Для перевода генератора в нужный режим следует нажать соответствующую кнопку на панели. Аналогично изменяются другие параметры – частота и амплитуда сигнала.

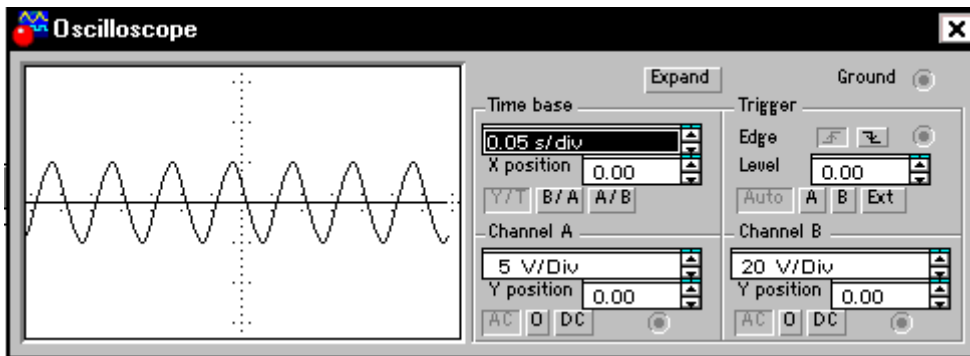


Рисунок 8.3 – Вид нормальной панели осциллографа *Electronics Workbench*

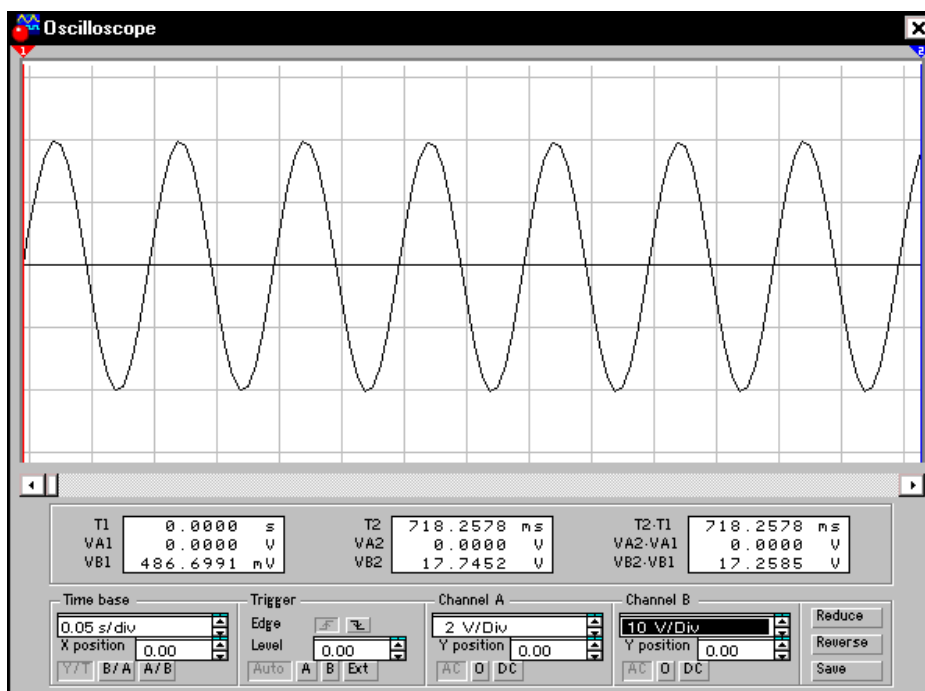


Рисунок 8.4 – Расширенная панель осциллографа

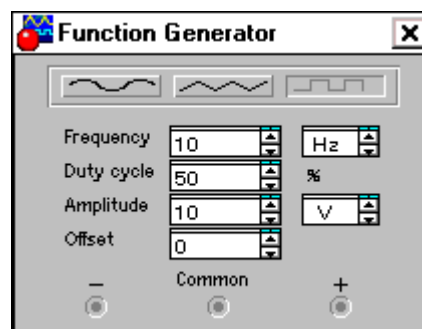


Рисунок 8.5 – Панель генератора импульсов

Перед изменением каких-либо параметров следует отключить источники питания схемы, иначе возможно получение неверных результатов.

Выходной сигнал интегрирующей цепи показан на рисунке 8.6.

Для изменения параметров элементов схемы требуется дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на нужном элементе. При этом будет выведено окно свойств элемента (рисунок 8.7).

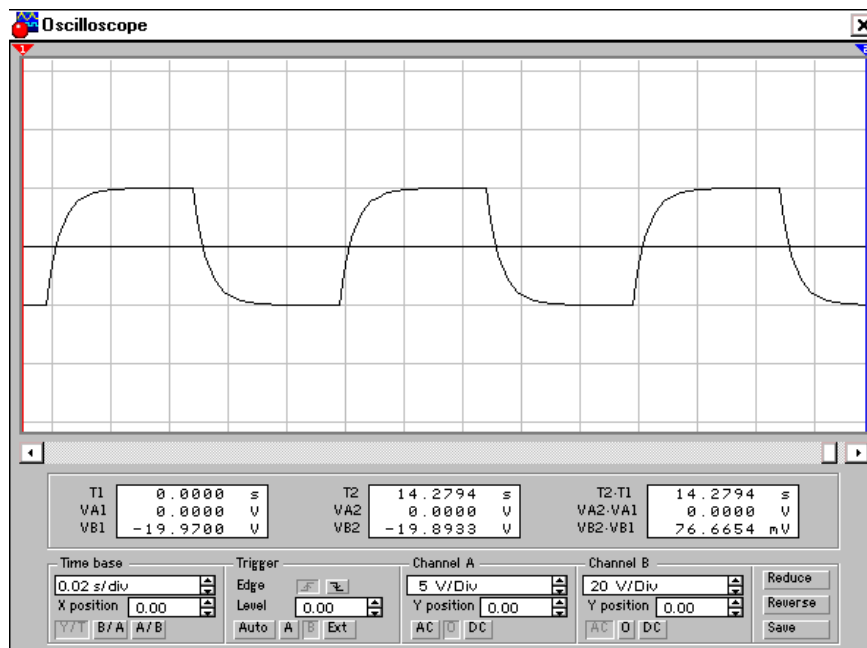


Рисунок 8.6 – Сигнал на выходе интегрирующей RC-цепи

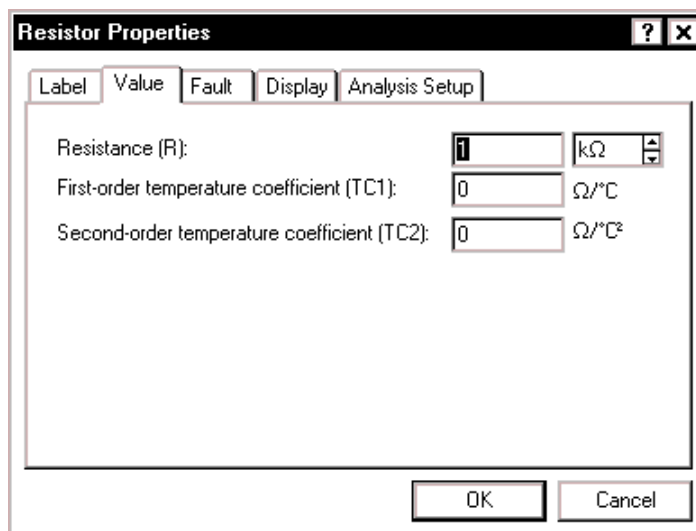


Рисунок 8.7 – Окно параметров резистора

Кроме анализа посредством прямого наблюдения за экранами инструментов *Electronics Workbench* позволяет выполнить дополнительные виды анализа. В качестве примера для данной схемы можно привести получение АЧХ- и ФЧХ-схемы как четырехполюсника. Т.е. при расчете на вход схемы подается сигнал различной частоты и производится анализ зависимости вида выходного сигнала от входного. При этом нужно задать начальную и конечную частоты анализа.

Для проведения этого анализа следует остановить работу цепи, т.е. воспользоваться переключателем питания или кнопкой **Pause** и выполнить команду меню **Analysis / AC Frequency**. Перед расчетом появляется окно параметров анализа

(рисунок 8.8). При необходимости можно изменить некоторые из параметров: **Start frequency** (начальную частоту), **End frequency** (конечную частоту), **Sweep type** (тип горизонтальной оси на конечном графике), **Number of points** (количество точек анализа). В данном случае удобно установить количество исследуемых точек равным 1000 для получения более гладкого графика, тип горизонтальной оси – логарифмическим и диапазон частот от 1 Гц до 100 кГц.

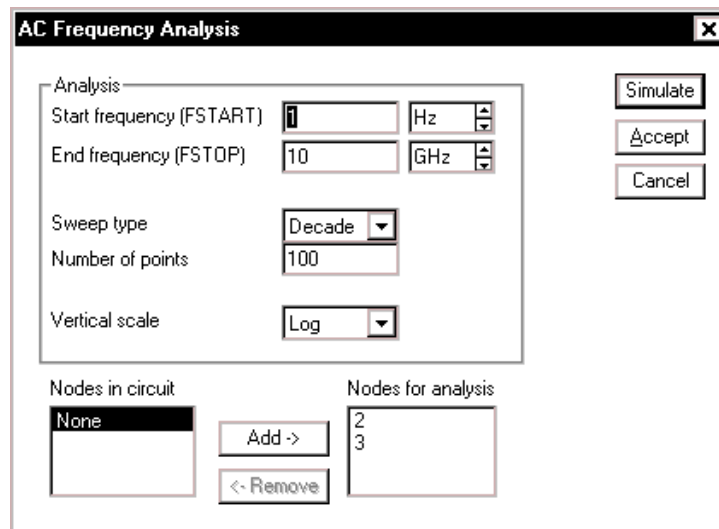


Рисунок 8.8 – Параметры анализа AC Frequency

Для получения графиков АЧХ и ФЧХ нужно нажать кнопку **Simulate** в окне параметров анализа, после чего будет выведено окно результатов (рисунок 8.9).

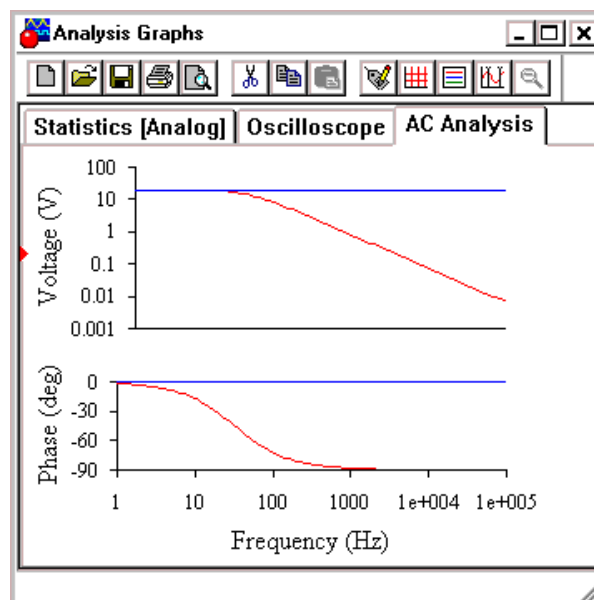


Рисунок 8.9 – АЧХ и ФЧХ интегрирующей RC-цепи

#### 8.1.4 Моделирование режекторного фильтра для удаления помехи

Чтобы смоделировать режекторный фильтр для удаления сетевой помехи, необходимо собрать схему, представленную на рисунке 8.10. Для этого следует нанести все компоненты схемы на рабочую область *Electronics Workbench* и соединить все контакты проводниками.

К входу фильтра подключены два генератора синусоидального напряжения. Первый выдает сигнал (параметры сигнала: частота 5 Гц, амплитуда 120 мВ). Второй генератор моделирует помеху в канале передачи (частота 50 Гц, амплитуда 15 мВ). К входу и выходу схемы подключаются анализатор АЧХ и ФЧХ, а также осциллограф.

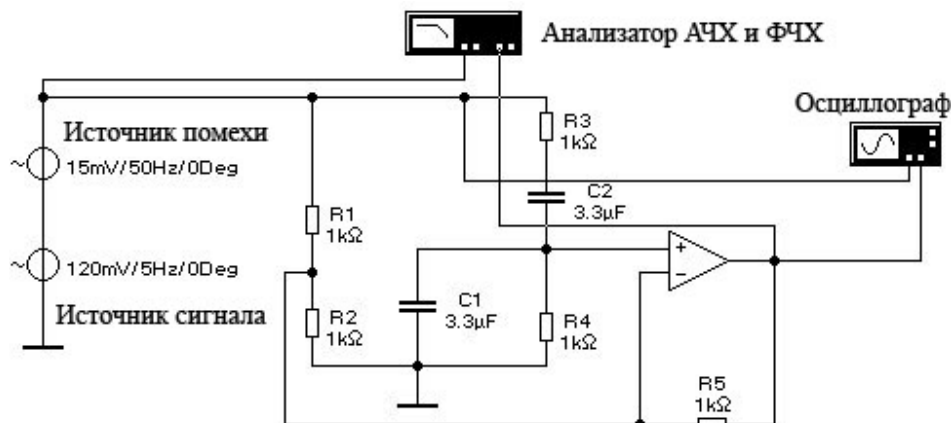


Рисунок 8.10 – Моделирование режекторного фильтра для удаления сетевой помехи

За сигналом на выходе фильтра удобно наблюдать, используя расширенное окно терминала осциллографа (рисунок 8.11, а). В результате моделирования схемы получаем АЧХ прибора (рисунок 8.11, б).

Для получения более точной модели следует заменить идеальные компоненты реальными моделями существующих элементов. *Electronics Workbench* включает в себя достаточно большое количество реальных моделей деталей широко известных производителей.

После завершения работы с программным комплексом нужно закрыть программу, предварительно сохранив файл со схемой, если это необходимо.

По результатам моделирования необходимо произвести корректировку схемы электрической принципиальной и перечня элементов разрабатываемого аппарата ЭЛА.

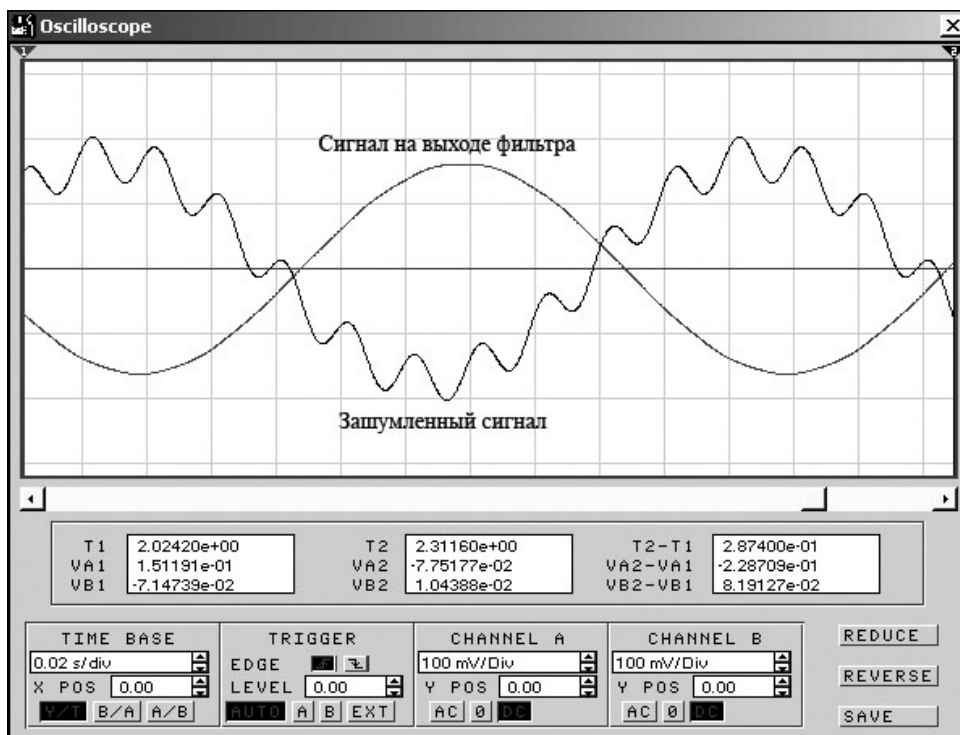
## 8.2 Проектирование печатных узлов в P-CAD

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.

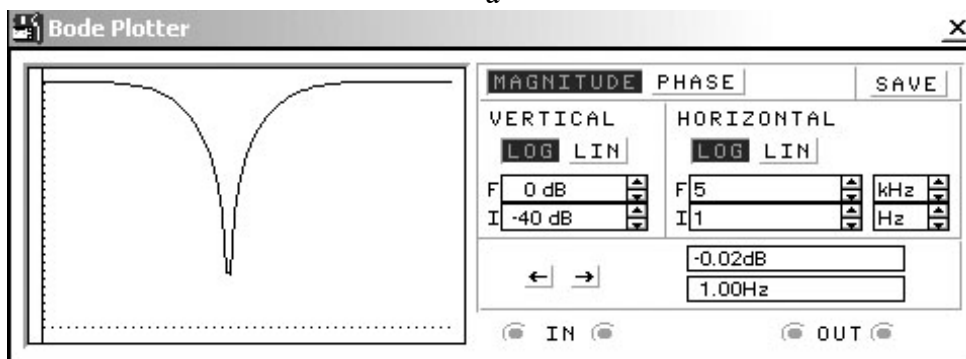
САПР P-CAD представляет собой пакет специализированных модулей, тесно связанных друг с другом и охватывающих все этапы разработки и изготовления однослойных и многослойных печатных плат.

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 соедине-

ний, вплоть до получения конструкторской документации и подготовки информации для производства плат на технологическом оборудовании.



а



б

Рисунок 8.11 – Осциллограммы входного и выходного сигналов (а) и АЧХ (б) режекторного фильтра для удаления сетевой помехи

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 P-CAD 2001/05 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.

### 8.2.1 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 8.12) с помощью команды  **Create New Folder** создаем новую папку проекта (например папку **MyProject**) и записываем новую библиотеку **MyLibrary** (кнопка **Save**).

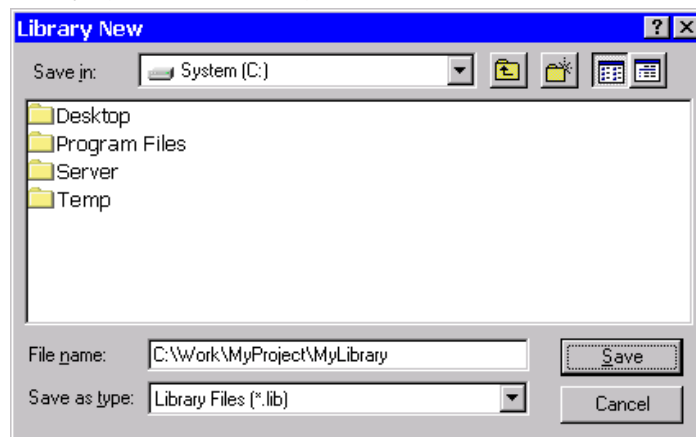


Рисунок 8.12 – Диалоговое окно Library New

8.2.2 **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 8.13). 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**.

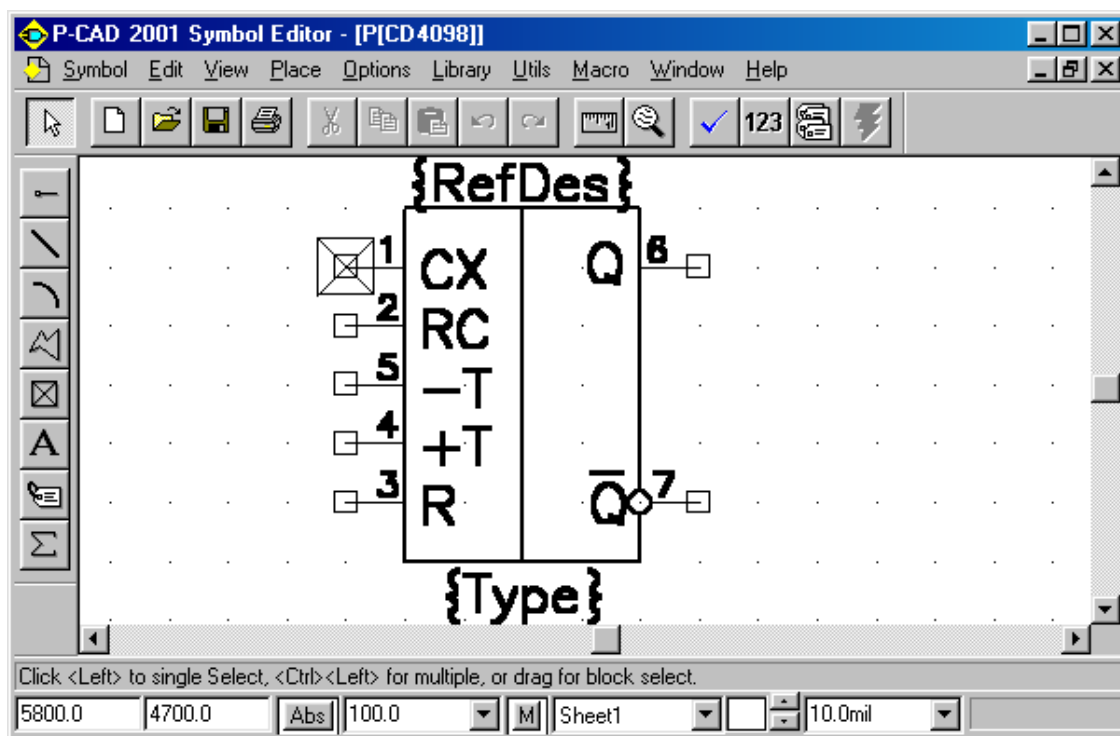


Рисунок 8.13 – Диалоговое окно **Symbol Editor**

При создании символов компонентов с большим количеством выводов удобен «Мастер символов», вызываемый по команде **Symbol Wizard** меню **Symbol** или кнопкой . В его диалоговом окне (рисунок 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.

При ручном рисовании символа полезна команда **Place>Pin**, диалоговое окно которой (рисунок 8.15) в удобной форме содержит всю информацию, необходимую для настройки режима размещения выводов символов, и окно для просмотра их графики.

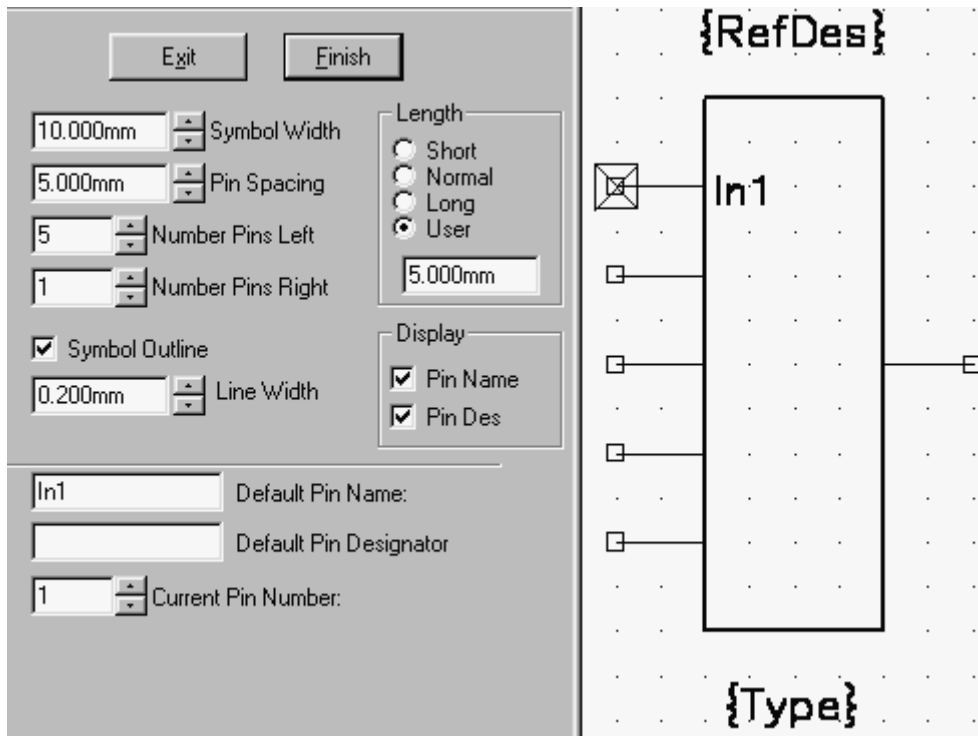


Рисунок 8.14 – Диалоговое окно **Symbol Wizard**

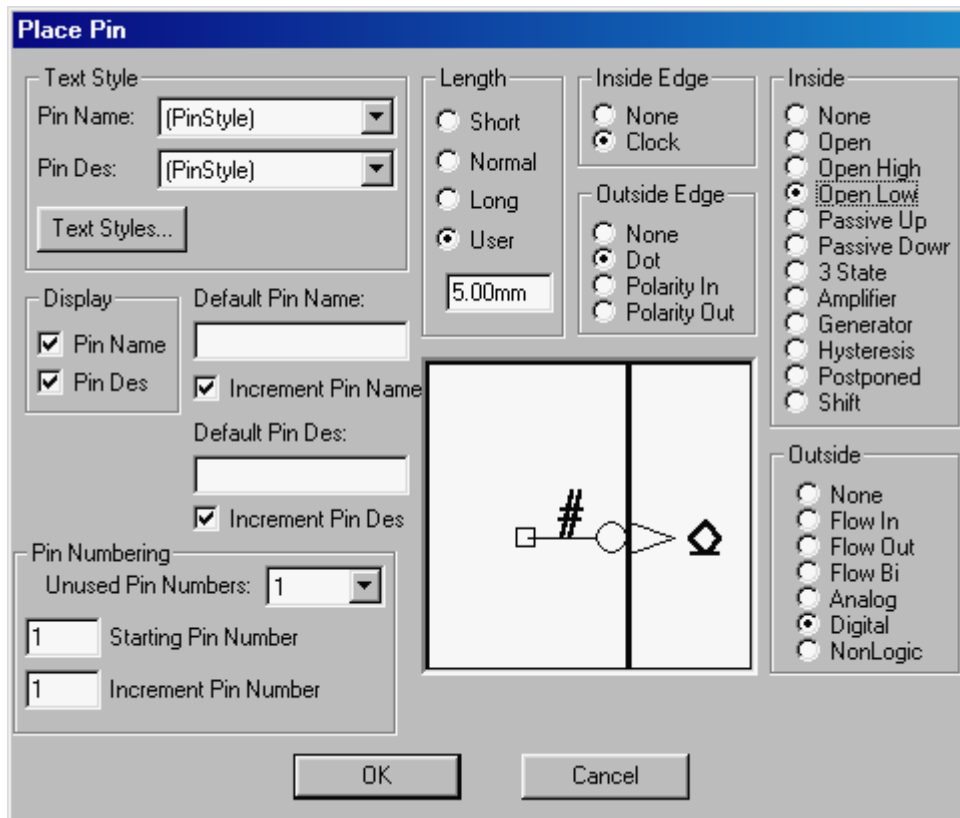


Рисунок 8.15 – Диалоговое окно **Place Pin**

Проверка корректности создания символа компонента осуществляется с помощью команды **Utils/Validate** или кнопки . Если обнаружена ошибка, откроется окно с описанием ошибки (рисунок 8.16, а). В данном случае возникла ошибка *Found duplicate pin number* (найлены выводы с одинаковыми но-

мерами). Если ошибок не обнаружено, появится окно (рисунок 8.16, б) со строкой *No errors found!* – ошибок не обнаружено и такой символ разрешается заносить в библиотеку.

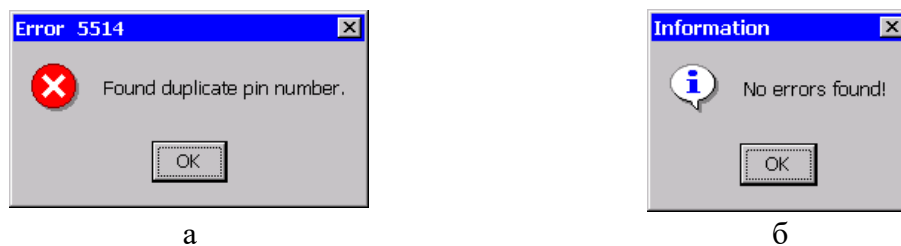




Рисунок 8.16 – Проверка символа компонента на ошибки

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.

**8.2.3 Создавать корпуса компонентов** можно 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 8.17) 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.

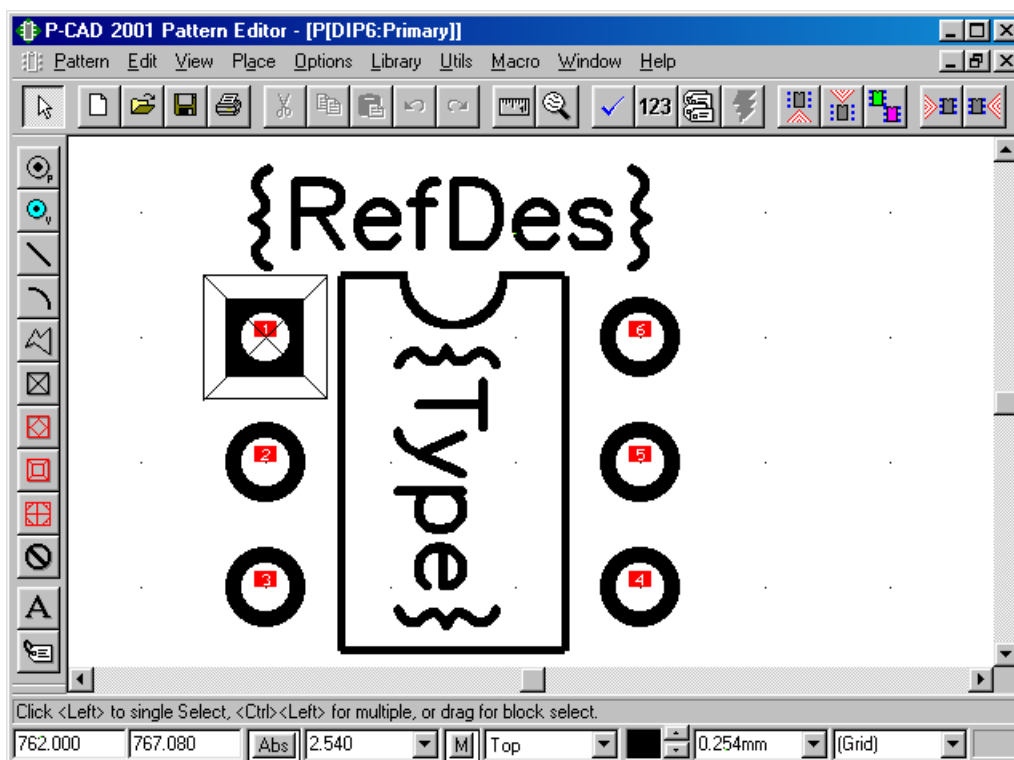
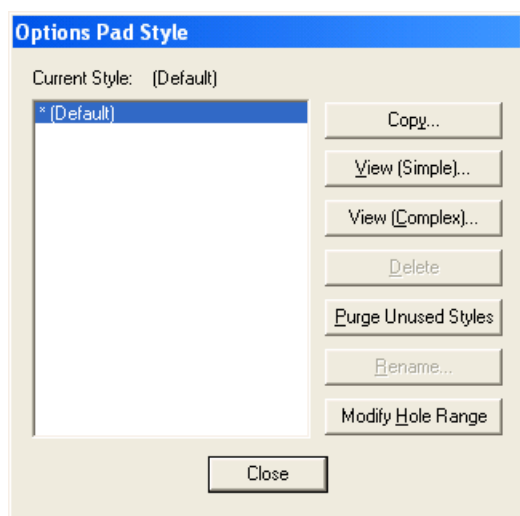
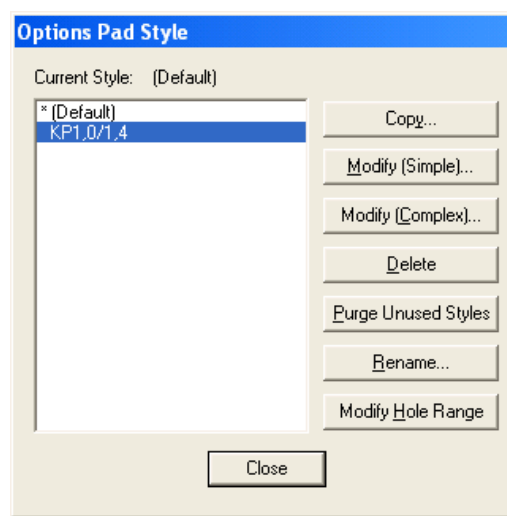


Рисунок 8.17 – Экран P-CAD Pattern Editor

При начальной загрузке программы в окне **Options Pad Style** (рисунок 8.18, 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**, в открывшемся окне **Copy Pad Style** вводим имя для круглой контактной площадки (например **KP1,0/1,4**) и затем щёлкаем по кнопке **OK** (рисунок 8.18, б).



а



б

Рисунок 8.18 – Диалоговое окно Options Pad Style

Для редактирования *простого* стека контактных площадок (форма и размер контактных площадок одинаковы 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 **Plate** (металлизация) (рисунок 8.19).

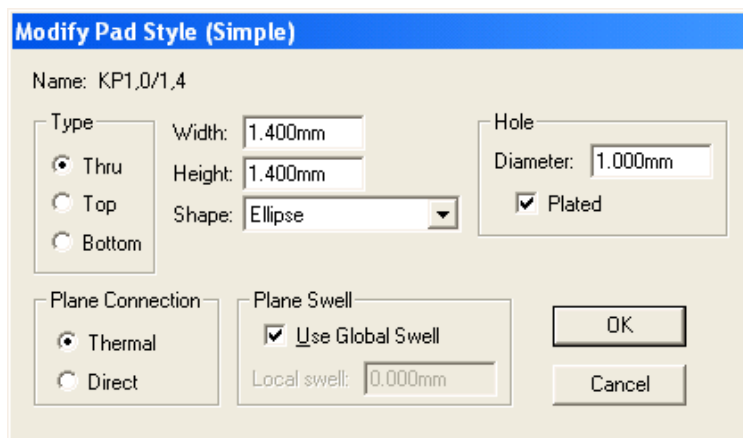



Рисунок 8.19 – Диалоговое окно **Modify Pad Style**

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 значения, 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 8.20) 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.).

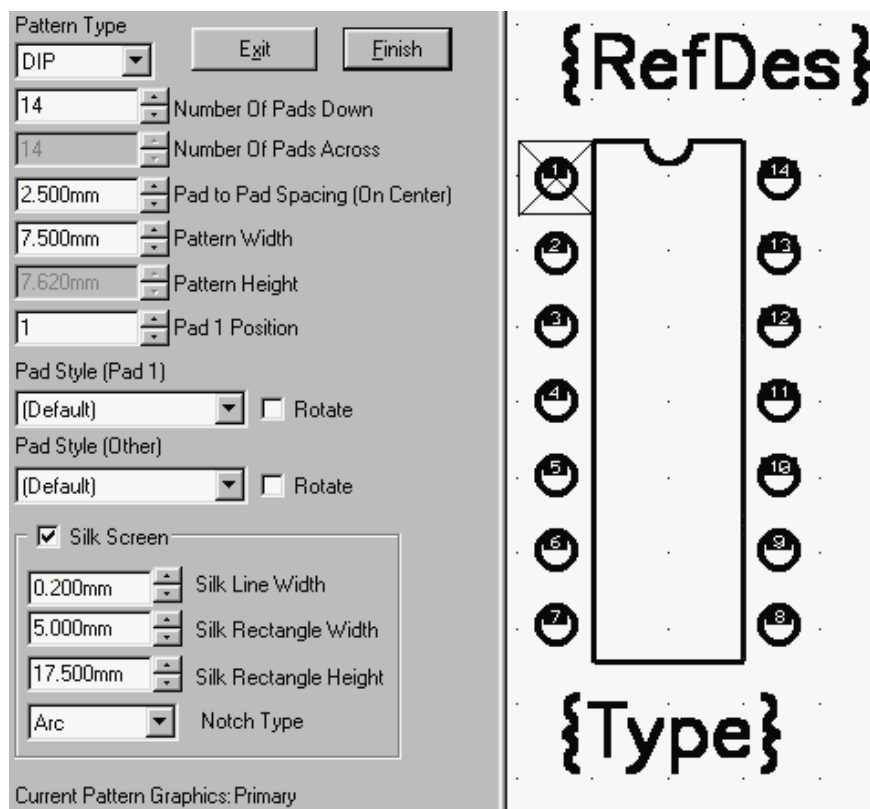




Рисунок 8.20 – Диалоговое окно P-CAD Pattern Wizard

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 закры-

тия 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 будет создаваться в дальнейшем с помощью **Library Executive** или **Library Manager**, не нужно включать опцию **Create Component**.

#### **8.2.4 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 интегрированных библиотек при проектировании печатных плат в P-CAD предпочтительнее, так как это позволяет осуществлять:


- «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 Manage**:

- добавлена команда **Query** для поиска компонентов в библиотеках по заданному набору атрибутов;
- при использовании **Library Executive** стало 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 от-

крывается (раскрывающееся 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 8.21).

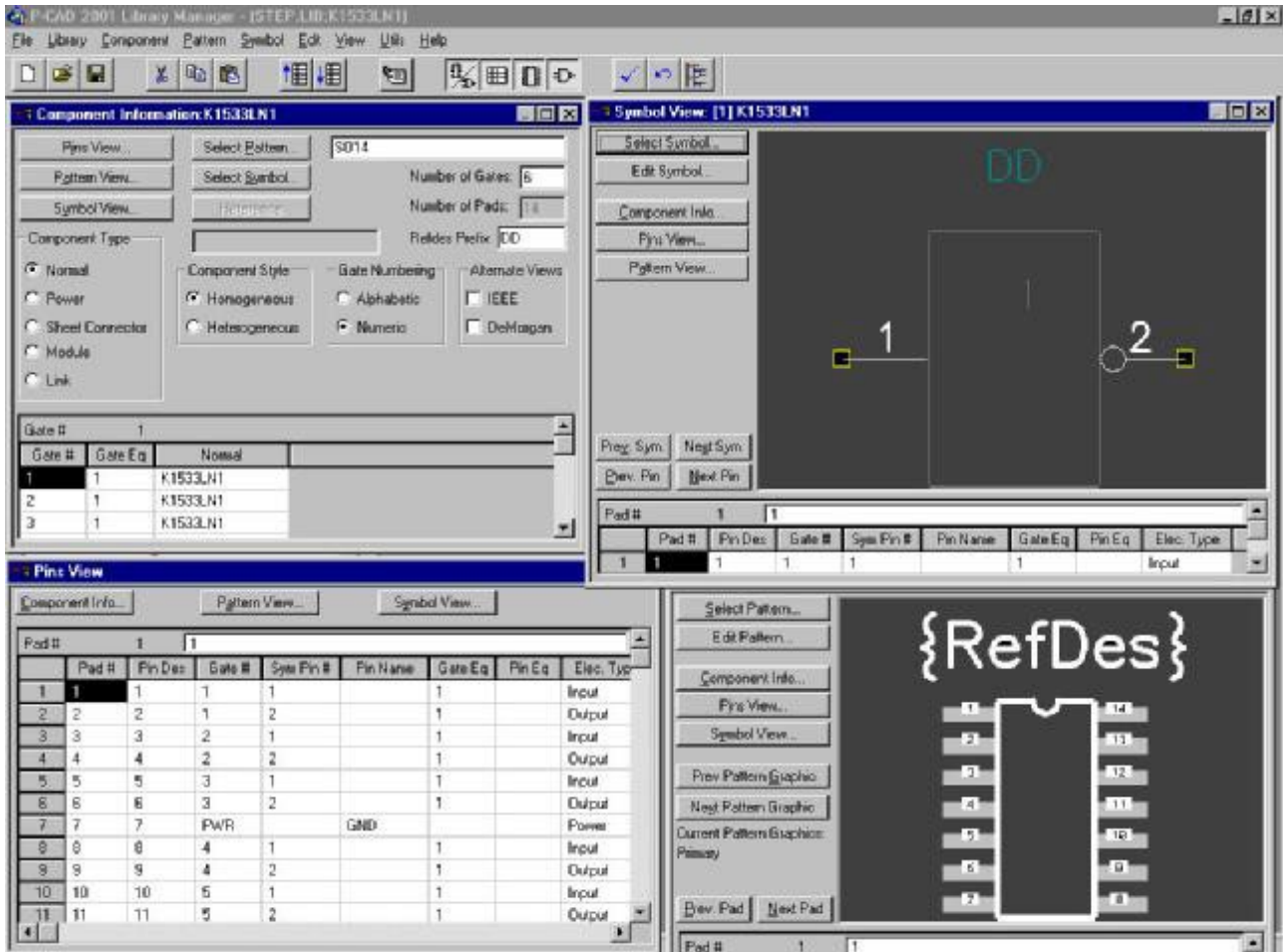


Рисунок 8.21 – Подробная информация о компоненте на экране **Library Manager**

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.

**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):

*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.

**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.

**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.

**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 8.22):

**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 8.23). 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 кнопкой 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).

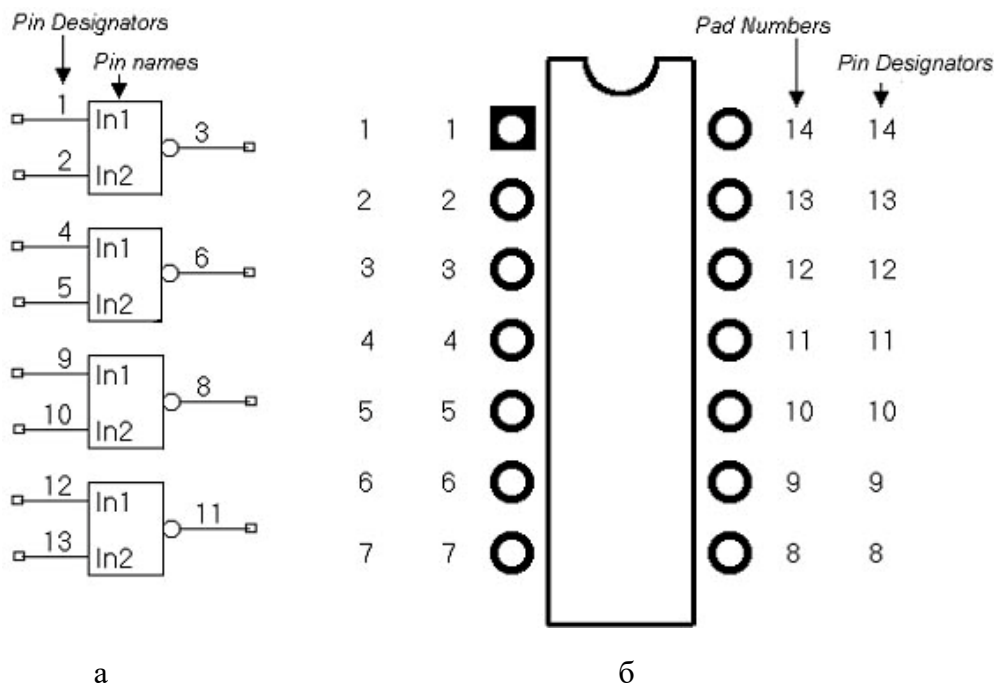


Рисунок 8.22 – Изображение компонента на схеме (а) и на ПП (б) ИС К155ЛА3

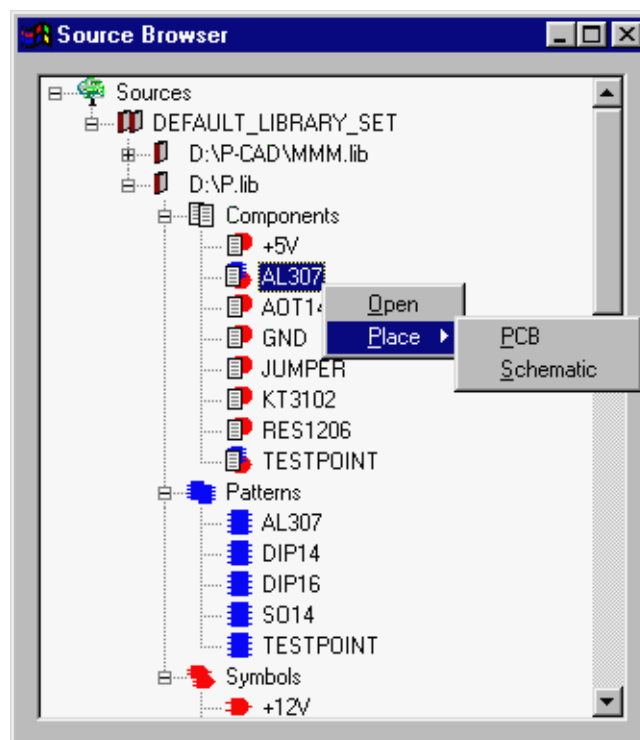


Рисунок 8.23 – Окно просмотра Source Browser

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

Для создания библиотечного компонента (например К1533ЛА3) необходимо выполнить следующие этапы.

### 1 Подключение символа.

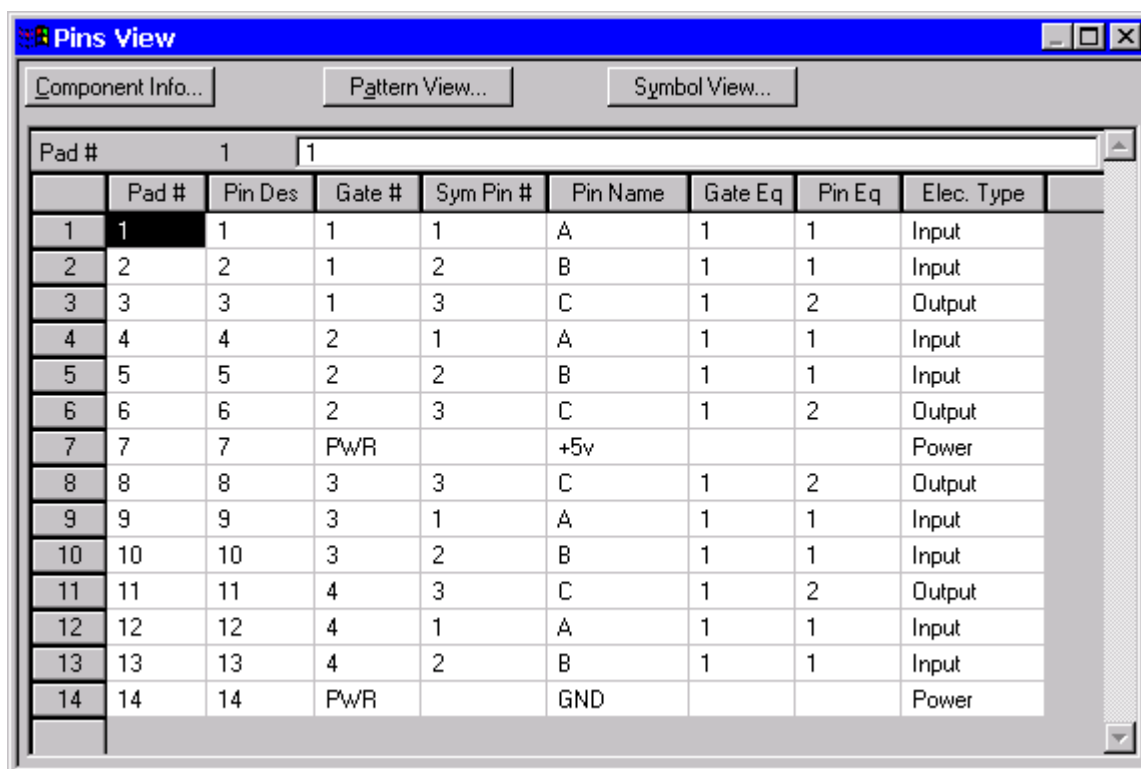
Для подключения символа необходимо выбрать в таблице любую строку в графе **Normal**, нажать на кнопку **Select Symbol** и в открывшемся окне **Library Browse** из списка символов, помещенных в открытую библиотеку, выбрать нужный.

### 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 8.24).



The screenshot shows a window titled "Pins View" with three tabs: "Component Info...", "Pattern View...", and "Symbol View...". The "Component Info..." tab is active. At the top, there is a "Pad #" field with the value "1". Below it is a table with the following columns: "Pad #", "Pin Des", "Gate #", "Sym Pin #", "Pin Name", "Gate Eq", "Pin Eq", and "Elec. Type". The table contains 14 rows of data.

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

Рисунок 8.24 – Таблица выводов компонента

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!**

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.

### **8.2.5 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 строке состояний.

В меню **Options>Display** задают цвета различных объектов, стиль изображения 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** выбираются 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.

**Загрузка библиотек.** Перед нанесением на схему символов компонентов по команде **Library>Setup** обеспечивается доступ к необходимым библиотекам (рисунок 8.25, а). Нажав клавишу **Add**, добавляют имена библиотек в список открытых библиотек (Open Libraries).

**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 (рисунок 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 рисунке 8.25, 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.

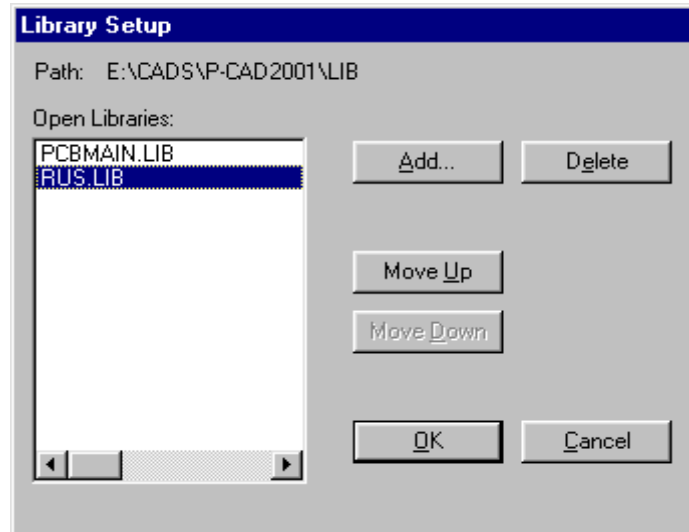
Позиционные обозначения компонентов на схеме проставляются автоматически. Для изменения назначенного в библиотеке префикса позиционного обозначения его надо указать в поле **RefDes** в явном виде (см. рисунок 8.25, б). Для компонентов, состоящих из одной секции, имя секции не проставляется.

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.

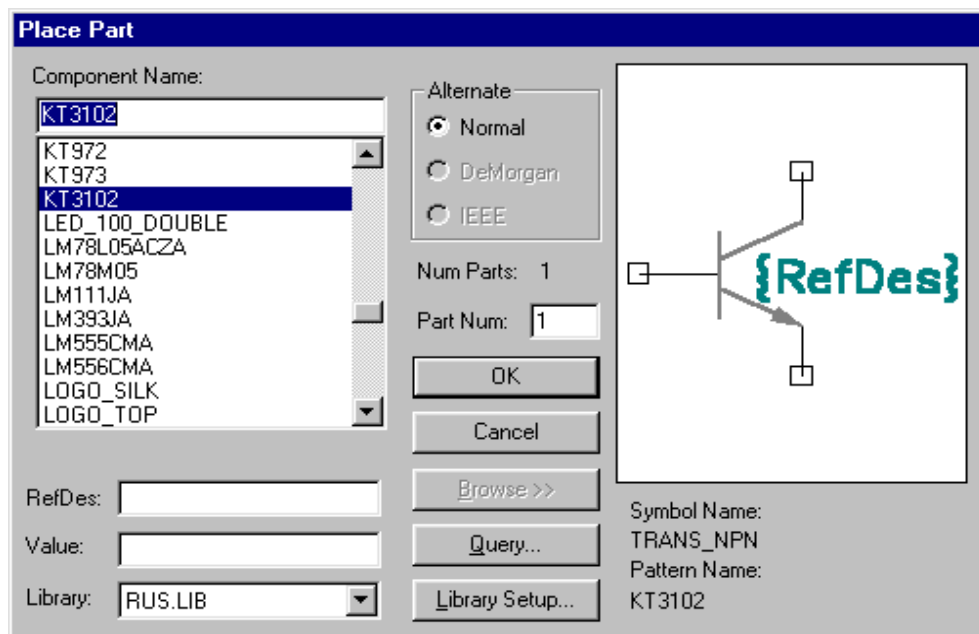
На строке **Value** проставляют номинал компонента, например сопротивление резистора.

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. Повторным щелчком курсора на схеме размещается очередная копия символа выбранного компонента с присвоением ему следующего позиционного обозначения, которое одновременно выводится в строке инфор-

мации. 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.




a



б

Рисунок 8.25 – Загрузка библиотек (а) и выбор символа компонента (б)

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 удерживание ее до щелчка курсора позволяет выбрать отдельный элемент символа: вывод, элемент графики, позиционное обозначение и др.


**Размещение электрических цепей.** После выбора команды **Place>Wire**  курсор принимает форму перекрестья. Щелчком мыши отмечается началь-

ная точка цепи. Каждое нажатие левой кнопки мыши фиксирует точку излома. Нажатие клавиши **O** до отпущения 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, 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 **A5**. Тогда первая цепь получит **A5**, вторая – **A6** и т.д.

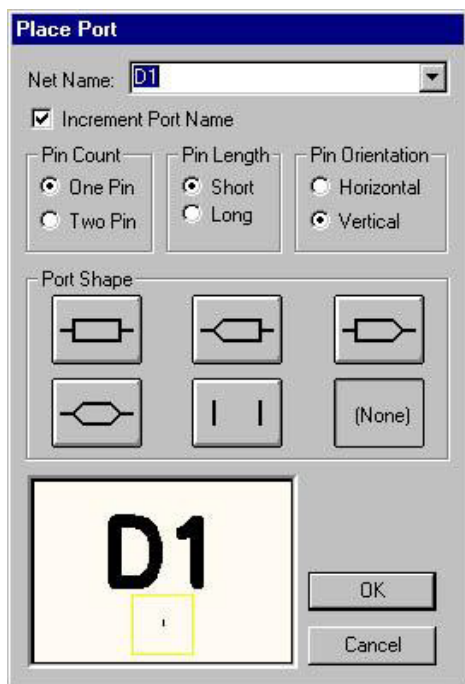
Если к цепи подсоединить компонент заземления **GND**, то она автоматически получит имя **GND**, так как выводу компонента заземления присвоен тип **Power**, что обеспечивает автоматическую замену имени цепи, к которому он подключен, на имя этого компонента.

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.

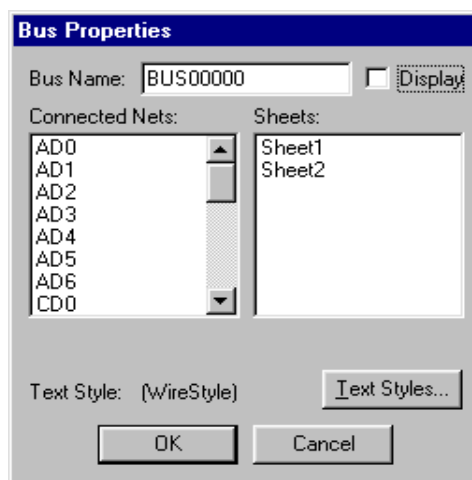
**Размещение шин.** Выбор команды **Place>Bus**  активизирует режим ввода шин. Щелчком курсора отмечают начало шины и точки ее излома. Построение шины завершается нажатием правой кнопки мыши или **Esc**.

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  $45^\circ$  (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 рисунке 8.26, 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.



а



б

Рисунок 8.26 – 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 **OK** 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 8.26, б).

**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 8.27, 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**.

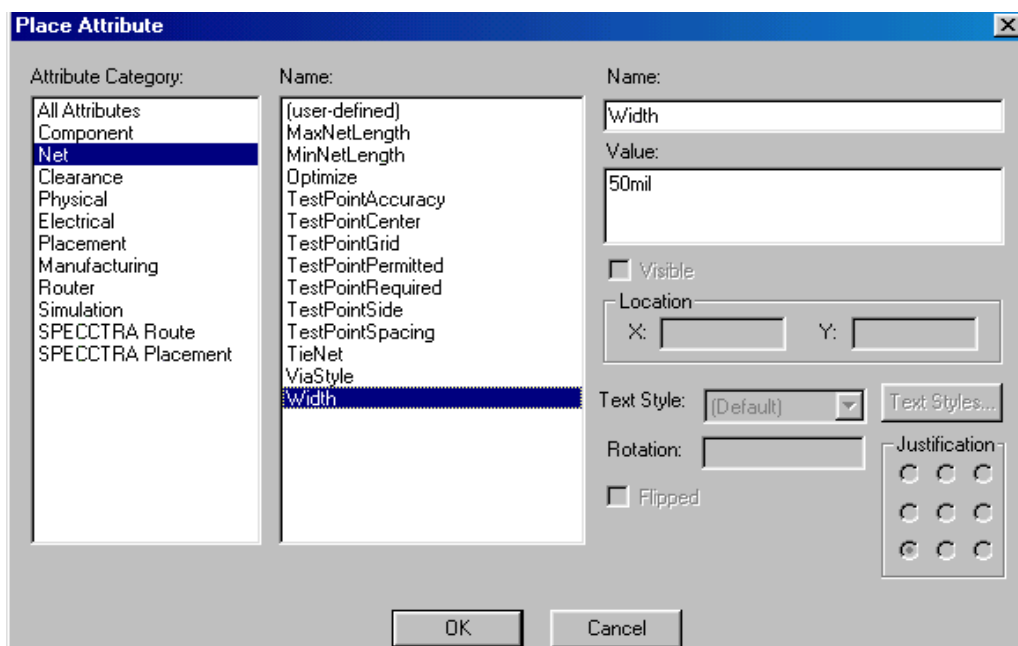


Рисунок 8.27 – Редактирование атрибутов цепей

**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**.

**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.

**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.

### **8.2.6 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.

### **8.2.7 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 развернутом 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°, 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.

### **8.2.8 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 T-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 8.28): **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.

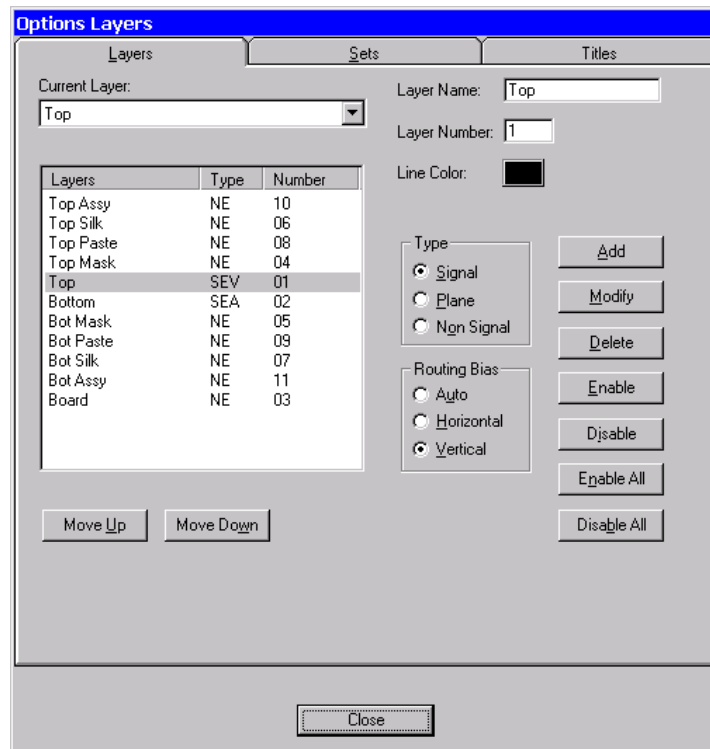


Рисунок 8.28 – Определение структуры и атрибутов слоев печатной платы

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 соответствующие 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).

**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.

**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).

**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 8.29).

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**.

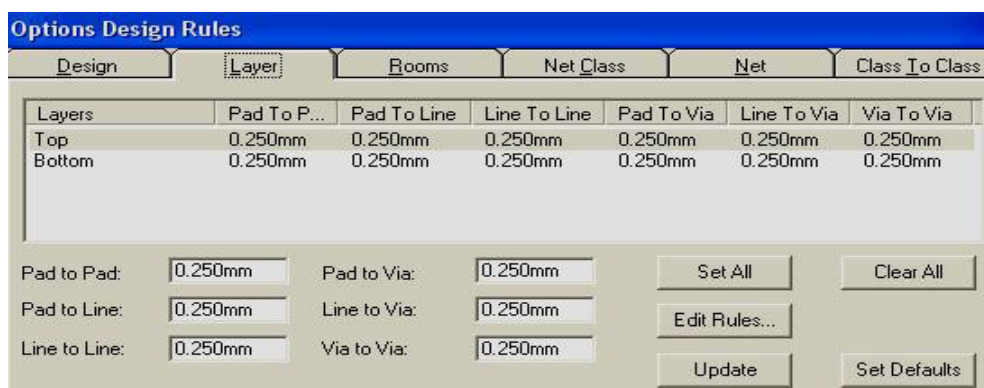


Рисунок 8.29 – Пример задания правил и ограничений трассировки

**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, области, запрещенные для трассировки по конструкционным соображениям, и т.п.). Предварительно по команде **Options>Current Keepout** устанавливаются параметры 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).

**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 T-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 ранее 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 перекрестьем, 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 перекрестьем.

**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.

**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.

**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 раскрывающемся 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**.

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

**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** вклю-

чают 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.

### 8.2.9 Автоматическая трассировка печатной платы в P-CAD

8.2.9.1 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 8.30).

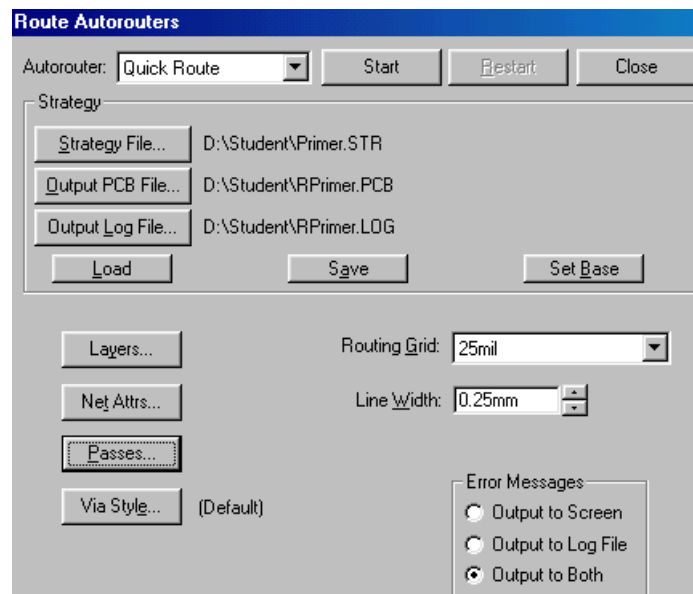


Рисунок 8.30 – Выбор автотрассировщика **Quick Route**

**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 (рисунок 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 8.31.

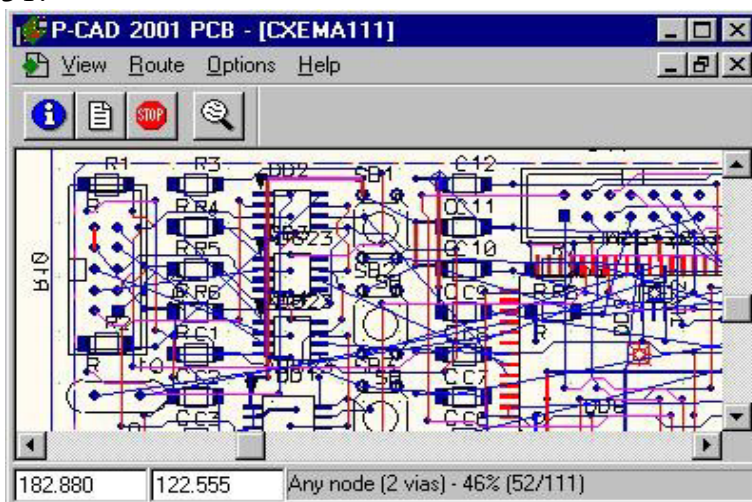


Рисунок 8.31 – Экран трассировщика **Quick Route**

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 четырех 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 их 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.

#### 8.2.9.2 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 технологиям (*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.

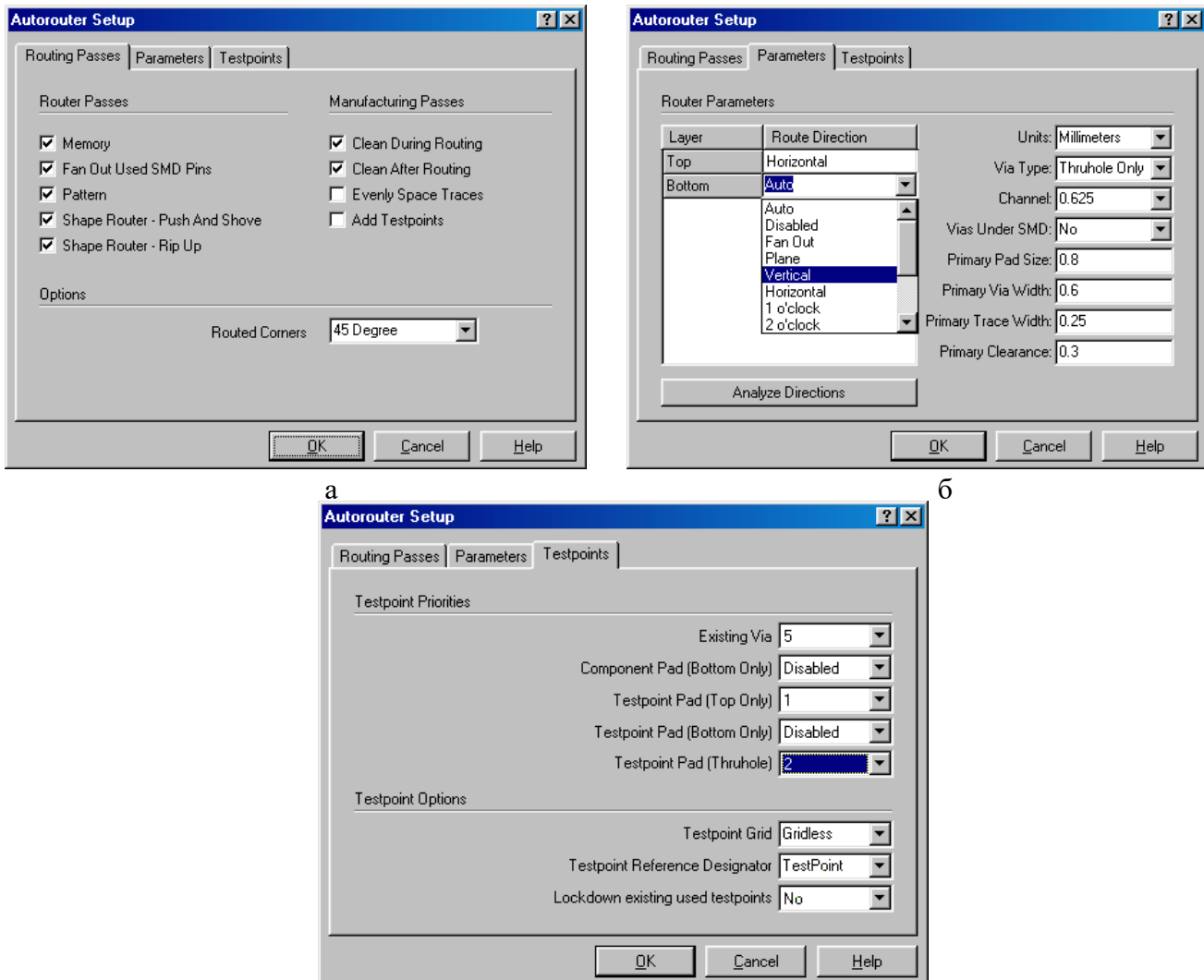
Программа *Shape-Based Router* нацелена на решение глобальных проблем (100 %-ная трассировка, минимизация количества ПО и др.) и не позволяет выполнить тонкую настройку стратегии трассировки (например, определенную цепь заключить в экран, провести дифференциальную пару проводников, проложить индивидуальную 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 8.32), имеющее 3 закладки.



В

а – закладка *Routing Passes*, б – закладка *Parameters*, в – закладка *Testpoints*  
Рисунок 8.32 – Диалоговое окно **Autorouter Setup**

На закладке *Routing Passes* в полях Router Passes и Manufacturing Passes выбирается тип трассировки:

**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 ориентаций (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 (рисунок 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 мо-

жет 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 Channel Size, установленного программой, нет разницы между качеством сеточной и бессеточной трассировки.

На закладке *Testpoints* (рисунок 8.32, 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 8.33) задания атрибутов всем цепям проекта.

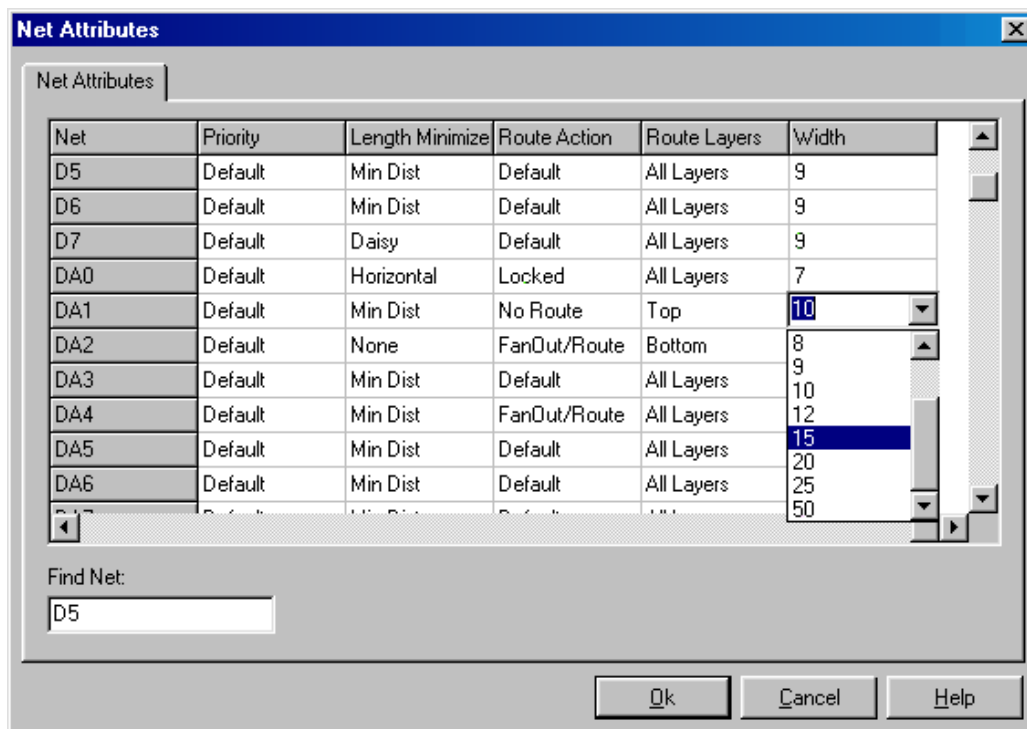








Рисунок 8.33 – Диалоговое окно Net Attributes



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**.

### **8.2.10 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**.

## **8.3 Оформление чертежей электронной аппаратуры в AutoCAD**

### **8.3.1 Назначение и возможности пакета AutoCAD**

AutoCAD – универсальная система автоматизированного проектирования 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:

- 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;

- из шаблона создается необходимое число новых листов необходимого формата со штампом и основной надписью;

- на каждом из листов создаются видовые экраны, представляющие собой чертежные виды. Для каждого видового экрана настраивается масштаб отображения и другие параметры;

- видовые экраны размещаются на листе и закрепляются;

- 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.

### **8.3.2 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 целесообразно выполнять в различных слоях различными цветами. Исходя из этих соображений, можно рекомендовать следующую последовательность (этапы) оформления чертежа детали электронной аппаратуры:

#### ***Подготовительные операции***

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.

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).

3 Командой **zoom** (меню **View > Zoom**) установить требуемый масштаб изображения.

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.

### **Создание чертежа**

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

2 В слое *AXIS* построить осевые линии.

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

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

5 В слое *FINE* обозначить резьбу, нанести штриховку.

6 В слое *DIM* нанести размеры.

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

8 Заполнить основную надпись чертежа.

9 Сохранить чертеж (**File > Save**).

### **8.3.3 Экспорт платы печатной из P-CAD в AutoCAD. Особенности оформления чертежа платы печатной с использованием пакета AutoCAD**

Рекомендуется оформлять чертеж платы печатной в следующей последовательности:

#### **Подготовительные операции**

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

2 Загрузить в P-CAD PCB файл \*.pcb с информацией о спроектированной плате печатной.

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

– выделить в рабочей области P-CAD PCB зону с экспортируемой информацией;

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

4 В открывшемся диалоговом окне экспорта данных из P-CAD PCB (рисунок 8.34):

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

– выбрать единицы измерения (mm);

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

5 Указать имя и расположение экспортируемого файла (кнопка **DXF File name...**).

6 Нажать кнопку **ОК**.

## Создание базового блока чертежа

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



Рисунок 8.34 – Диалоговое окно экспорта данных

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

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

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 8.35);
- нажать кнопку **Quick Select**;
- выбрать параметры: *Object type* – *Arc*, *Properties* – *Radius*, *Operator* – *Less than*, *Value* – *0.03*;
- нажать кнопку **OK**.
- нажать кнопку **Delete**.

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

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 миллиметрах. В шаблоне также должна быть рамка чертежа.

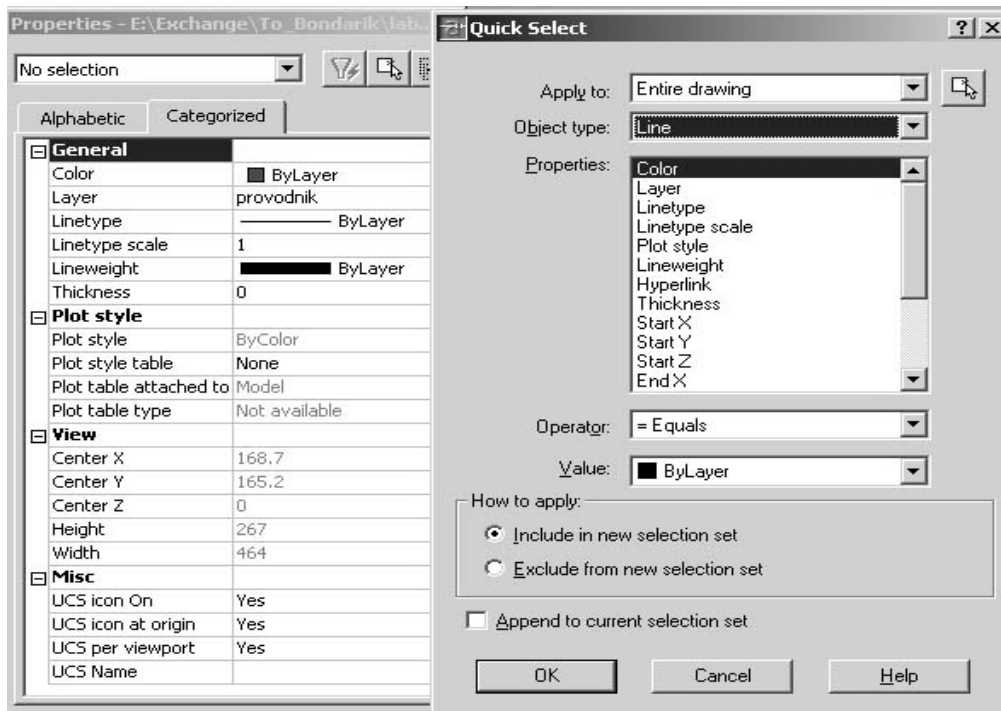


Рисунок 8.35 – Диалоговое окно команды **Properties**

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

- проверить размеры заранее известного объекта по команде **DIMLINEAR**. Например, известно расстояние между двумя выводами 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).

#### **Создание чертежа платы печатной**

1 Созданный базовый блок зеркально отразить по команде **MIRROR** при включенном режиме **ORTHO**.

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

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

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

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

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

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 8.36).

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).

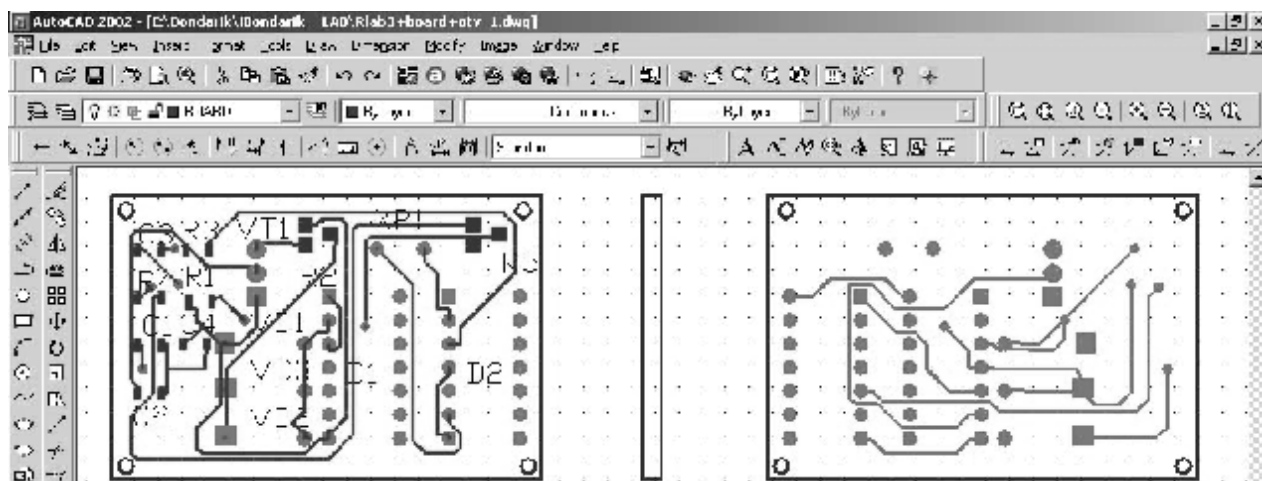


Рисунок 8.36 – Экран AutoCAD со сформированными видами платы печатной

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

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

11 Заполнить основную надпись чертежа.

### 8.3.4 Особенности оформления сборочного чертежа электронного блока с использованием пакета AutoCAD

Рекомендуется оформлять сборочный чертеж электронного блока в следующей последовательности:

#### Подготовительные операции

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

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 пункте 8.3.3.

#### Создание сборочного чертежа

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

2 При необходимости – произвести корректировку изображения.

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

4 Созданный блок перенести в настроенный шаблон.

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).

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

7 Нанести на чертеже размеры, позиционные обозначения деталей и сборочных единиц согласно спецификации (рисунок 8.37).

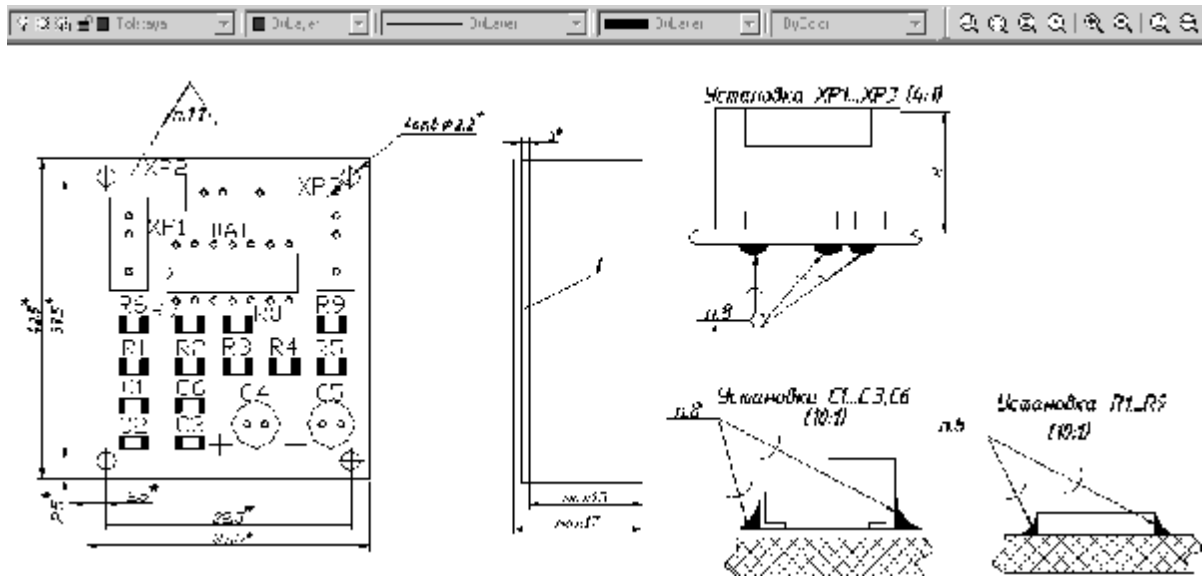


Рисунок 8.37 – Экран AutoCAD с дополнительными построениями

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

## 9 ОФОРМЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

### 9.1 Комплектность и обозначение конструкторских документов

В ходе курсового проектирования разрабатываются графические (чертежи, схемы, графики) и текстовые (спецификации, перечни элементов, эксплуатационные инструкции, пояснительная записка и т.д.) документы. Комплект КД определяет состав и устройство проектируемого изделия и содержит данные, необходимые для его изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. В соответствии с ГОСТ 2.102-68 КД подразделяют на определенные виды (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Номенклатура конструкторских документов (по ГОСТ 2.102-68)

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

В объеме одного или даже нескольких курсовых проектов невозможно представить полный комплект КД на изделие. Поэтому состав и объем КД необходимо согласовывать с руководителем для каждого конкретного случая.

Для оценки способности самостоятельно проектировать изделия наибольший интерес представляет рабочая КД, которая включает принципиальные схемы и сборочные чертежи с перечнем элементов и спецификациями, чертежи деталей. В учебных целях при разработке КД в курсовых проектах документации рекомендуется присваивать литеру «О», «Т» или «И».

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

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

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

Деталям, на которые не выпущены чертежи, согласно ГОСТ 2.109-73 присваиваются самостоятельные обозначения по общим правилам.

Согласно ГОСТ 2.201-80 структура обозначения изделия и основного конструкторского документа должна быть следующей:

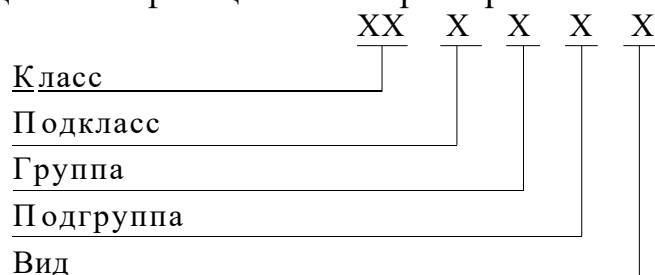
X X X X.	X X X X X X.	X X X
Код организации-разработчика	Код классификационной характеристики	Порядковый регистрационный номер

Четырехзначный буквенный код организации-разработчика назначается по кодификатору организаций-разработчиков. В БГУИР на факультете компьютерного проектирования приняты следующие коды: КПКП, БГУИ – для курсовых проектов.

Код классификационной характеристики присваивают изделию и конструкторскому документу в соответствии с классификатором ЕСКД.

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

### Структура кода классификационной характеристики:



При классификации изделий в классах использованы в основном следующие признаки:

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

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

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

Для классификации общих документов используется подкласс «0» во всех классах. К подклассу «0» относятся документы, регламентирующие общие для изделий всего класса, его подклассов, групп и т.д., нормы, правила, требования, методы и т.п. в области свойств изделий, их маркировки, упаковки, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта, технологии производства и др. Например, технические условия, техническое описание, инструкции по ремонту, эксплуатации и т.п.

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

Некоторые классы и подклассы изделий, наиболее часто используемые при кодировке изделий медицинской электроники, приведены в приложении И, которое составлено на основе введения к классификатору ЕСКД. Более детальное описание кода изделия необходимо уточнять в томах «Классы классификатора ЕСКД» (50 классов).

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

Например, электронный измеритель температуры можно закодировать следующим образом: БГУИ.941123.001 – класс 94 (Медицинская техника), под-

класс 1 (Комплексы медицинской техники. Приборы медицинские. Аппараты медицинские). Группа, подгруппа и вид описывают более подробно принцип измерения температуры, вид прибора и т.п.

При обозначении неосновных конструкторских документов (кроме чертежей деталей и спецификаций) к обозначению основного документа добавляют соответствующий код, установленный ГОСТ 2.102-68 (см. таблицу 9.1). Структура обозначения неосновного КД следующая:

X X X X. X X X X X X. X X X	X X X
Обозначение изделия	Код документа

В коде документа должно быть не более четырех знаков, включая номер части документа, например: КПКП.943341.021 СБ – сборочный чертеж; КПКП.943341.021 ТУ – технические условия.

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

X X X X. X X X X X X. X X X - X X
Базовое обозначение
Порядковый номер исполнения

В курсовых проектах некоторые чертежи представляют собой графики, диаграммы, эпюры напряжений и т.п. Их следует относить к документам прочим, устанавливая классификационную характеристику изделия и добавлять к обозначению основного конструкторского документа (спецификации проектируемого изделия, оборудования и т.п.) Д, Д1 и т.д. в зависимости от количества документов. *Пример: БГУИ.941123.001 Д – Измеритель температуры электронный. Графики исследований.*

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

## 9.2 Правила оформления схем

Для курсового проектирования по дисциплине «Электронная лечебная аппаратура» основными чертежами являются схемы структурные, функциональные и принципиальные устройства.

Схемы – конструкторские документы, на которых составные части изделия, их взаимное расположение и связи между ними изображены условно, – позволяют значительно быстрее (чем по чертежам) разобраться в принципе и по-

следовательности действия элементов того или иного устройства. Виды, типы и общие требования к выполнению схем установлены ГОСТ 2.701-84.

В зависимости от элементов, входящих в состав изделия, связей между ними схемы разделяют на различные виды (таблица 9.2).

Таблица 9.2 – Виды схем

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

Если в состав изделия входят элементы и связи различных видов, разрабатывается **комбинированная схема, обозначаемая буквой С**. Ее наименование определяется видами и типом, например, СЗ – схема электропневматическая принципиальная.

По основному назначению схемы делят на определенные типы, обозначаемые соответствующей цифрой (таблица 9.3).

Таблица 9.3 – Типы схем

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

Наименование схемы определяется ее видом и типом, например: схема электрическая монтажная (Э4).

### 9.2.1 Построение схемы

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

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

Допускается выполнять схемы в пределах условного контура, упрощенно отображающего конструкцию изделия (например платы). Условные контуры при этом выполняются сплошными линиями, равными по толщине линиям связи.

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

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

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

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

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

### 9.2.2 Кинематические схемы

Выполняются в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.703-68 и ГОСТ 2.770-68, ГОСТ 2.721-74. В соответствии с ГОСТ 2.703-68 на кинематической схеме необходимо изображать всю совокупность кинематических элементов и их соединений, все кинематические связи между парами, цепями и т.п., а также связи с источниками движения. Кинематическую схему изделия следует вычерчивать, как правило, в виде развертки. Допускается изображать схемы в аксонометрических проекциях и, не нарушая ясности схемы, переносить элементы вверх или вниз от их истинного положения, а также пово-

рачивать их в положения, наиболее удобные для изображения. Сопряженные звенья пары, вычерченные раздельно, следует соединять штриховой линией.

Все элементы схемы должны быть изображены условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.770-68 или упрощенно внешними очертаниями. Элементы схемы следует изображать:

- валы, оси и т.п. – сплошными основными линиями толщиной  $s$ ;
- элементы, изображенные упрощенно внешними очертаниями (зубчатые колеса, червяки, шкивы, звездочки и т.п.), – сплошными тонкими линиями толщиной  $s/2$ ;
- контур изделия, в который вписана схема, – сплошными линиями толщиной  $s/3$ ;
- кинематические связи между сопряженными звеньями пары, вычерченными раздельно, – штриховыми линиями толщиной  $s/2$ ;
- крайние положения элемента, меняющего свое положение при работе изделия, – тонкими штрихпунктирными линиями с двумя точками;
- валы и оси, закрытые другими элементами (невидимые), – штриховыми линиями.

Пересекающиеся валы и оси в местах пересечения изображают без разрыва.

Каждому кинематическому элементу, начиная от источника движения, присваивается порядковый номер. Валы нумеруют римскими цифрами, остальные элементы – арабскими. Элементы покупных или заимствованных механизмов не нумеруют, порядковый номер присваивают всему механизму. Номер проставляют на полке линии-выноски. Под полкой необходимо указывать основные характеристики и параметры кинематического элемента:

- мощность электродвигателя, Вт, и частоту вращения его вала,  $\text{мин}^{-1}$  (угловую скорость, рад/с) или мощность и частоту вращения входного вала агрегата;
- вращающий момент, Н·м, и частоту вращения,  $\text{мин}^{-1}$ , выходного вала;
- число и угол наклона зубьев и модуль зубчатых и червячных колес, а для червяка – число заходов, модуль и коэффициент диаметра;
- диаметры шкивов ременной передачи;
- число зубьев звездочек и шаг цепи и т.п.

Наименование каждой кинематической группы элементов (например привод подачи) нужно наносить на полке линии-выноски, проведенной от этой группы. Сменные кинематические элементы следует обозначать на схеме строчными буквами латинского алфавита и указывать в таблице характеристики для всего набора сменных элементов. Таблицу допускается выполнять на отдельных листах. Сменным элементам порядковый номер не присваивается.

### **9.2.3 Электрические схемы**

Выполняются в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.708-81. В схемах следует применять условные графические обозначения элементов, предусмотренные стандартами седьмой классификационной группы (ГОСТ 2.747-68 и др.). Изделие на схеме следует изображать в отключенном состоянии.

На **структурной схеме** (Э1) изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или условных графических обозначений.

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

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

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

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

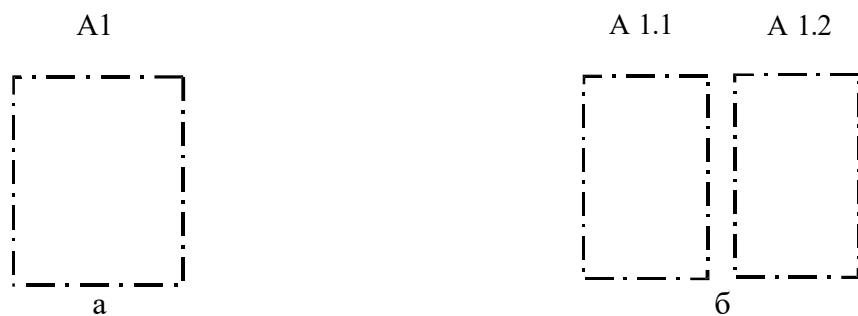
Функциональные части и связи между ними на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой системы конструкторской документации. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников.

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

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

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

Условные графические обозначения элементов и устройств выполняют *совмещенным* или *разнесенным* способом. При *совмещенном* способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу (рисунок 9.1). При *разнесенном* способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.



а – совмещенное изображение; б – разнесенное изображение  
 Рисунок 9.1 – Фрагмент построения схемы электрической

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

Схемы выполняют в *многолинейном* или *однолинейном* изображении. При *многолинейном* изображении каждую цепь изображают отдельной линией, а элементы, содержащиеся в этих цепях, – отдельными условными графическими обозначениями. При *однолинейном* изображении цепи, выполняющие идентичные функции, изображают одной линией, а одинаковые элементы этих цепей – одним условным графическим изображением (рисунок 9.2).



а – многолинейное изображение; б – однолинейное изображение  
 Рисунок 9.2 – Фрагмент схемы электрической принципиальной

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

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

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

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

Каждый элемент схемы должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, наносимое рядом с его условным графическим обозначением

(сверху или справа). Позиционное обозначение должно состоять в общем случае из трех частей:

- буквенный код элемента, определяющий его вид, – одна или несколько букв латинского алфавита (например VT – транзистор) (приложение К);
- порядковый номер элемента в пределах группы элементов одного вида – одна или несколько арабских цифр;
- буквенный код функционального назначения данного элемента – одна или несколько букв латинского алфавита.

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

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

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

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

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

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

Сведения о контактах в соединителях указывают одним из следующих способов:

1 Около изображения соединителя на свободном поле схемы или на последующих листах схемы помещают таблицы, в которых указывают адрес соединения (обозначение цепи (рисунок 9.3) и (или) позиционное обозначение элементов, присоединяемых к данному контакту). При необходимости в таблице приводятся характеристики цепей и адреса внешних соединений.

В графах таблиц указывают следующие данные:

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

в графе «Цепь» – характеристику цепи;

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

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

Рисунок 9.3 – Таблица адресов

2 Соединения с контактами соединителя изображают разнесенным способом (рисунок 9.4).

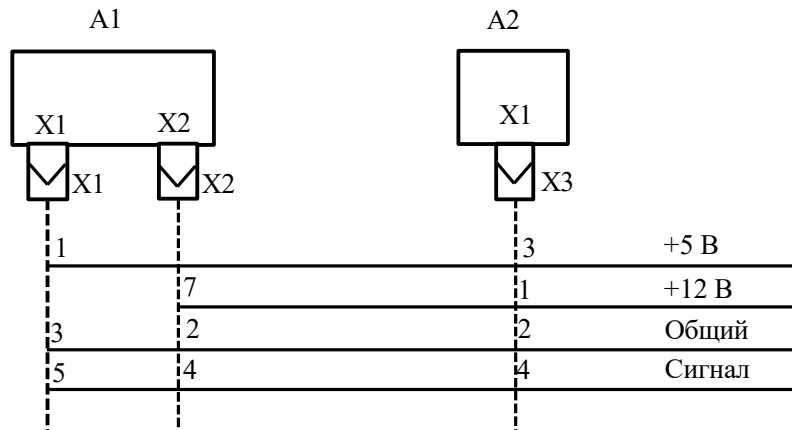


Рисунок 9.4 – Разнесенный способ указания таблицы адресов

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

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

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

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

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

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

- 1) нумерация позиционных обозначений элементов должна быть сквозной в пределах изделия (устройства);
- 2) перечень элементов должен быть общим;
- 3) при повторном изображении отдельных элементов на других листах схемы следует сохранять позиционные обозначения, присвоенные им на одном из листов схемы.

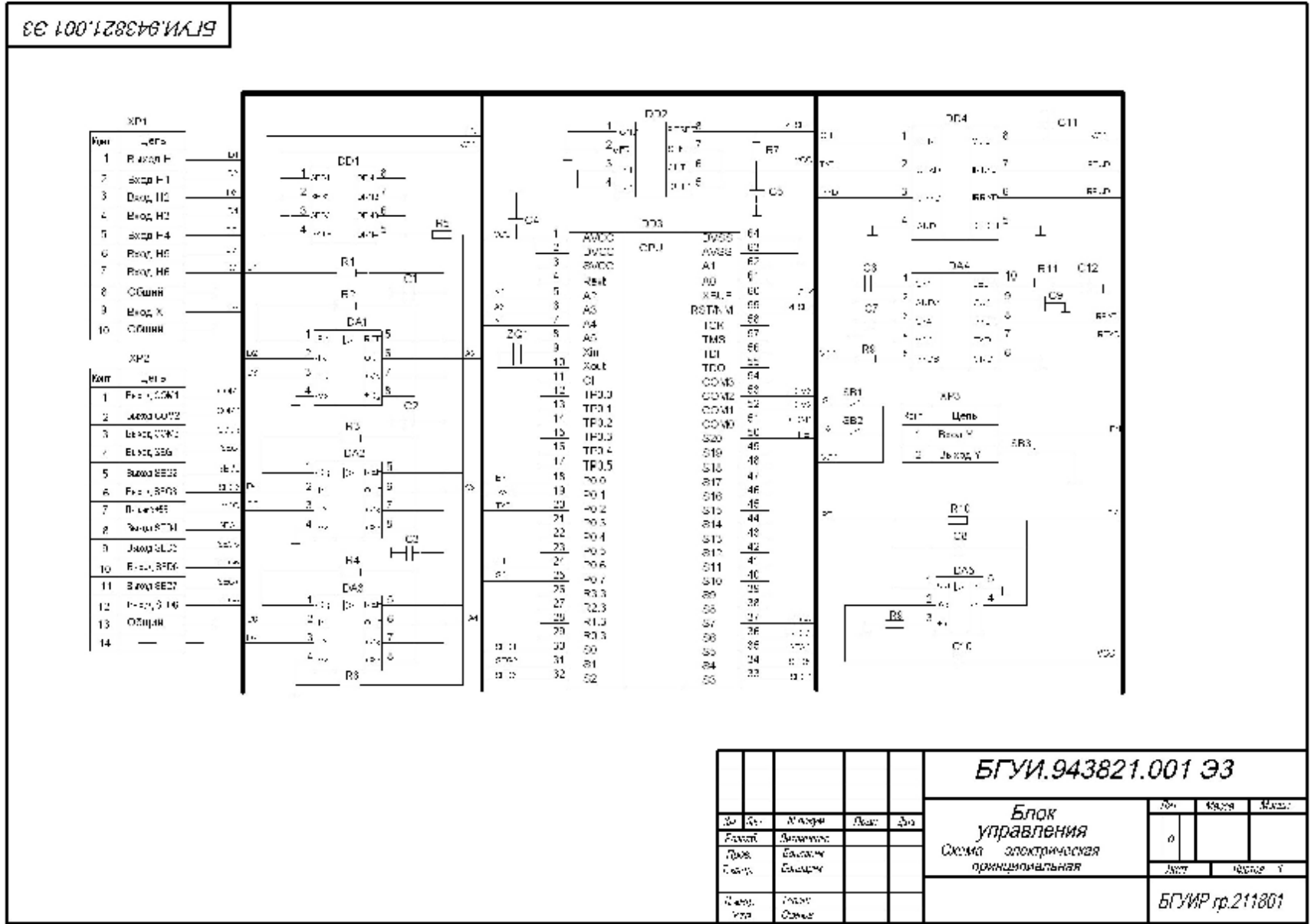


Рисунок 9.5 – Схема электрическая принципиальная устройства

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

Пример выполнения электрической схемы приведен на рисунке 9.5.

#### **9.2.4 Оптические схемы**

Выполняются по ГОСТ 2.412-81. На оптической схеме должны быть изображены:

- выполняющие определенную функцию оптические элементы изделия;
- источники излучения (упрощенно или условными обозначениями);
- приемники лучистой энергии, например, фотоэлементы, фотоумножители (условными графическими обозначениями).

Элементы, поворачивающиеся или перемещающиеся вдоль или перпендикулярно оси, следует показывать в основном рабочем положении. Кроме него могут быть показаны и другие положения, например крайние. При необходимости допускается обозначать оси прописными буквами русского алфавита.

Кроме того, на оптической схеме следует указывать:

- положение диафрагм;
- положение зрачков (при необходимости);
- положение фокальных плоскостей, плоскостей изображения и предмета (при необходимости, например для фотографических объективов и объективов микроскопов); положение экранов, светорассеивающих полостей и поверхностей (при необходимости).

Номера позиций элементам схемы следует присваивать по ходу луча. При разветвлении схемы в несколько направлений номера позиций указываются по одному из направлений до конца, затем последующие номера позиций по другим направлениям.

Если в схему изделия входит элемент, имеющий самостоятельную принципиальную схему (расчет оптических величин), то его следует изобразить упрощенно, обвести тонкой штрихпунктирной линией и указать размеры, определяющие его положение.

Повторяющимся элементам необходимо присваивать один и тот же номер позиции, после которого в скобках допускается ставить порядковый номер.

На принципиальной оптической схеме следует помещать основные оптические характеристики изделия в виде записей на поле схемы или таблицы произвольной формы, например:

- для *телескопических систем*: видимое увеличение, угловое поле оптической системы в пространстве предметов, диаметр выходного зрачка, удаление выходного зрачка от последней поверхности, предел разрешения, коэффициент пропускания (при необходимости);
- для *фотографических объектов*: фокусное расстояние, относительное отверстие, угловое поле оптической системы в пространстве предметов или

размер кадра, разрешающую способность и коэффициент пропускания (при необходимости);

– для фотоэлектрических систем: размеры фотокатодов или типы фотоприемников, размеры светового пятна на фотокатодах (при необходимости).

На оптической схеме в зависимости от типа следует указывать:

– диаметры диафрагм, размеры зрачков, размеры тела накала или других светящихся элементов источников излучения (при необходимости);

– воздушные промежутки и другие размеры по оси, определяющие взаимное расположение оптических элементов, диафрагм, зрачков, фокальных плоскостей, плоскостей изображения и плоскостей предмета (для систем, работающих на конечном расстоянии), источников излучения и приемников энергии;

– размеры, определяющие пределы рабочего перемещения или предельные углы поворота оптических деталей;

– размеры, определяющие положение оптической системы относительно механических частей прибора, например, размер, определяющий положение объектива микроскопа относительно нижнего среза тубуса (при необходимости);

– габаритные или установочные размеры, например, длину базы, высоту выноса (при необходимости).

### **9.2.5 Перечень элементов**

При составлении схем данные об элементах схемы должны быть записаны в таблицу перечня элементов, помещаемую на первом листе схемы или на отдельных листах формата А4 в виде самостоятельного текстового документа и заполняемую сверху вниз. Перечень элементов, помещенный на листе схемы, должен располагаться над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм. Его продолжение можно помещать слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. При выполнении перечня отдельным текстовым документом в графе 1 основной надписи следует записывать наименование изделия, для которого составлен перечень, а под ним делать запись «Перечень элементов» шрифтом, на один или два пункта меньшим того, каким записано наименование изделия. Во второй графе – десятичный номер схемы и шифр «П», присвоенный документу, а вслед за ним – шифр схемы, например, ПЭЗ – перечень элементов схемы электрической принципиальной.

В графах перечня необходимо приводить следующие данные:

в графе «Поз. обозначение» – позиционное обозначение элемента;

в графе «Наименование» – наименование элемента схемы в соответствии с документом, на основании которого он применен;

в графе «Кол.» – количество одинаковых элементов;

в графе «Примечание» – технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании.

Элементы в перечень следует вносить по группам в алфавитном порядке (латинский алфавит) буквенных позиционных обозначений, а в пределах каждой группы – в порядке возрастания номеров. В графе «Наименование» указывают наименование элемента таким образом, как указано в документации на

данное изделие с указанием конкретного нормативно-технического документа (ТУ, СТБ, ГОСТ и т.п.).

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

Между отдельными группами элементов или между элементами в большой группе рекомендуется оставлять незаполненные строки для внесения изменений. Первую и последнюю строки на каждом листе перечня элементов не заполняют.

Если в перечень вносят элементы одной группы с одинаковым буквенным обозначением, то в графе «Наименование» общее наименование записывают в виде заголовка (без повторения наименования элемента в каждой строке) и подчеркивают сплошной тонкой линией. Не следует повторять и обозначение документа, на основании которого применены элементы данной группы с различными параметрами.

Элементы одного вида с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме *последовательные порядковые номера*, рекомендуется записывать одной строкой с указанием в графе «Поз. обозначение» обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, а в графе «Кол.» общего числа этих элементов.

При разбивке поля схемы на зоны перечень элементов слева дополняют графой «Зона», указывая в ней обозначение зоны, в которой расположен элемент или устройство.

Перечень элементов записывается в спецификацию после схемы, к которой он выпущен.

Пример заполнения перечня элементов приводится в приложении Л.

### 9.3 Правила оформления спецификаций

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Неспецифицированное изделие** – это изделие, не имеющее составных частей.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Графы спецификации заполняют следующим образом.

В графе «Формат» указывают форматы документов, имеющих обозначение в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различного формата, то в графе ставят «звездочку», а в графе «Примечание» перечисляют все форматы с постановкой знака звездочки, например: \*А3, А4, А4х3. Для деталей, на которые нет чертежей, в данной графе указывают БЧ. Для документов, записанных в разделы «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу «Формат» не заполняют.

В графе «Зона» указывают обозначение зоны, где находится номер позиции записываемой части изделия (если поле чертежа разбито на зоны по ГОСТ 2.104-68).

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

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

В графе «Наименование» указывают:

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

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

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

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

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

Допускается для изделий и материалов, различающихся размерами и другими данными и примененных по одному документу, общую часть наименования с обозначением документа записывать *на каждом листе* спецификации один раз в виде заголовка. Под общим наименованием следует записывать для каждого изделия и материала только их параметры и размеры. В этом случае записывают следующим образом:

Гайки ГОСТ 5927-70

M2-6H.5.019;

M3-6H.5.016 и т.д.

Если основные параметры или размеры изделия обозначаются одним числом или буквой, то не допускается пользоваться указанным допущением.

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

дают на поле чертежа в технических требованиях. В разделе «Документация» данную графу не заполняют.

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

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

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

#### 9.4 Требования к чертежам деталей

При выполнении чертежей деталей следует ограничиться минимальным количеством изображений (видов, разрезов, сечений). Вопрос о количестве изображений, их содержании, взаимном расположении, масштабе и т.д. решают комплексно, исходя из удобства пользования чертежом при изготовлении и контроле изделия, а также исходя из особенностей детали (пружина, корпус, печатная плата и т.д.). Для деталей типа тел вращения достаточно дать одно изображение, добавляя к нему при необходимости частичные виды, разрезы, сечения и выносные элементы.

Деталь должна быть изображена, как правило, в натуральную величину. В зависимости от ее размеров и сложности может быть выбран масштаб увеличения или уменьшения. Для выносных элементов следует использовать только масштаб увеличения.

Рабочий чертеж детали должен содержать ряд требований, выполнение которых обеспечивает осуществление изготовленной деталью предназначенных ей функций, надёжность, длительность ее работоспособности. Требования излагаются в виде изображений, условных знаков и текстовых записей на поле чертежа.

Если отдельные элементы изделия необходимо до сборки обработать совместно с другим изделием (например, половины корпуса подшипника, редуктора и т.п.), для чего их следует соединить и скрепить, то на оба изделия должны быть самостоятельные чертежи, выполненные по общим требованиям. В отдельных, более сложных случаях допускается помещать полное или частично упрощенное изображение другого изделия, выполненное сплошными тонкими линиями. Специальные чертежи на совместную обработку не допускаются.

Если отверстия под винты, штифты и другие аналогичные детали обрабатываются в процессе сборки, на чертежах такие отверстия не изображают и сведений о них в технических требованиях не дают. Необходимые данные для их обработки приводят на сборочном чертеже.

На чертежах деталей не допускается помещать технологические указания. В виде исключения можно указать совместную обработку, гибку, развальцовку и т.д. Эти данные приводят на полке линии-выноски или в ТТ.

Правила оформления чертежей типовых деталей – зубчатых и червячных колес, червяков, звездочек, шкивов, валов – приведены в соответствующих ГОСТах, СТП и т.д. Не допускается в курсовых и дипломном проектах приводить чертежи нормализованных деталей (крепеж, стойки, втулки, некоторые другие элементы и т.д.). Эти изделия включаются в соответствующие разделы спецификации со ссылкой на действующую нормативно-техническую документацию (см. раздел 9.1).

Изделия простой конфигурации, изготавливаемые из полуфабриката, вносятся в спецификацию без чертежа (БЧ) с присвоением обозначения по классификатору. *Например:*

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
БЧ		17	БГУИ.741235.013	Прокладка. Лакоткань электроизоляционная ЛШМ 0,5 ГОСТ 2214-78 20x60 мм	4	

#### 9.4.1 Нанесение размеров на чертежах деталей

Основанием для определения величины изображённого изделия и его элементов служат размерные числа, нанесенные на чертеже. Размеры, как правило, проставляют от баз. Общее количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия. *Размеры, не подлежащие выполнению по данному чертежу, называются справочными.*

Нанесение размеров является одним из главных этапов составления чертежей и должно отвечать правилам, установленным ГОСТ 2.307-68 ЕСКД:

1 Нанесению размеров на чертеже предшествует выбор баз изделия.

2 В зависимости от назначения различают следующие виды баз: **технологическую**, используемую для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта; **конструкторскую**, используемую для определения положения детали или сборочной единицы в изделии; **измерительную**, определяющую относительное положение заготовки или изделия и средств измерения.

3 Конструкторские базы подразделяют на **основные**, принадлежащие данной детали или сборочной единице и определяющие их положение в изделии, и **вспомогательные**, также принадлежащие данной детали или сборочной единице и используемые для определения положения присоединяемого к ним изделия.

Установлены две категории размеров: **сопряженные** – размеры соединений, посадочных поверхностей, а также входящие в размерные цепи; **свободные** – не входящие в размерные цепи. Сопряженные размеры наносят от кондукторских баз, свободные – от технологических.

Если детали получены литьем, ковкой, штамповкой или прокаткой, то размеры необрабатываемых по чертежу элементов деталей проставляют от технологических баз.

Если деталь имеет обработанные и необработанные поверхности, то размеры обработанных поверхностей наносят от конструкторской базы, а необработанных – от технологической. Обе базовые поверхности в каждом координатном направлении должны быть связаны одним размером.

Установлены два способа нанесения размеров от баз:

**координатный** – размеры наносятся от одной, основной базы или от нескольких баз лесенкой. При этом способе погрешности в размерах не накапливаются и не влияют на общий результат;

**цепной** – размеры наносят цепочкой (один за другим), исключая один из размеров той части детали, которая не подвергается обработке и имеет самый большой допуск на размер.

Нанесение размеров в виде замкнутой цепи допускается только в том случае, когда один из размеров указывается как справочный.

Справочный размер отмечают на чертежах знаком «\*», а в технических требованиях записывают:

*\* Размер для справок.*

Необходимые для изготовления размеры, за исключением справочных, наносят с предельными отклонениями. Допуски и расположение поверхностей приводятся в соответствии с рекомендациями ГОСТ 2.307-68, ГОСТ 2.308-79, ГОСТ 21495-76, ГОСТ 25346-82, ГОСТ 7713-62, ГОСТ 25347-82. Выбирать номинальные значения размеров необходимо из ряда предпочтительности.

Размеры и допуски формы, как правило, указываются от технологических баз. Размеры между центрами симметричных отверстий должны иметь симметричный допуск, например  $\pm 0,1$  мм. Допуски формы и расположения поверхностей указывают либо условными обозначениями, согласно ГОСТ 2.309-79, либо текстом в технических требованиях (рисунок 9.6, таблица 9.4).

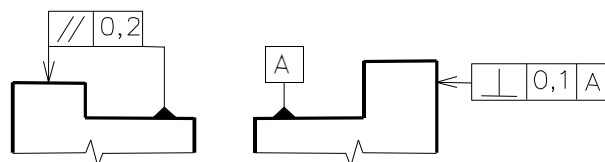


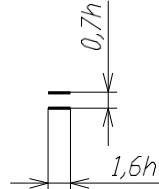
Рисунок 9.6 – Варианты обозначения базы и допусков формы на чертеже

Предельные отклонения линейных размеров на чертеже указывают одним из трёх способов (рисунок 9.7):

- условными обозначениями полей допусков;
- числовыми значениями предельных отклонений;
- условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений.

Многokратно повторяющиеся на чертежах предельные отклонения размеров относительно низкой точности (от 12-го качества и грубее) записываются в технических требованиях: «Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий – по H12, валов – по h12, остальных –  $\pm IT14/2$ ». Рекомендуется для размеров от 3 до 6 мм выбирать предельные отклонения  $\pm 0,15$  мм (IT11), 6–10 мм –  $\pm 0,18$  мм (IT12), больше 10 мм –  $\pm 0,215$  мм (IT13).

Таблица 9.4 – Обозначения допусков формы и расположения поверхностей

Вид допуска	Знак	Вид допуска	Знак
<b>Допуски формы</b>			
Прямолинейности		Цилиндричности	
Плоскостности		Профиля продольного сечения	
Круглости			
<b>Допуски расположения поверхностей</b>			
Параллельности		Пересечения осей	
Перпендикулярности		Симметричности	
Соосности		Позиционный	
		Наклона	
<b>Суммарный допуск формы и расположения</b>			
Торцевого и радиального биения в заданном направлении		Формы заданного профиля	
Полного торцевого и радиального биения		Заданной поверхности	

Детали для изделий ЭЛА выполняются с определенной точностью. Шкалы точности образуют 20 разрядов допусков, называемых квалитетами. Допуски на размеры деталей ЭЛА с точки зрения экономической целесообразности соответствуют 8–15 квалитетам.

Числовые значения полей допусков приведены в ГОСТ 25317-82.

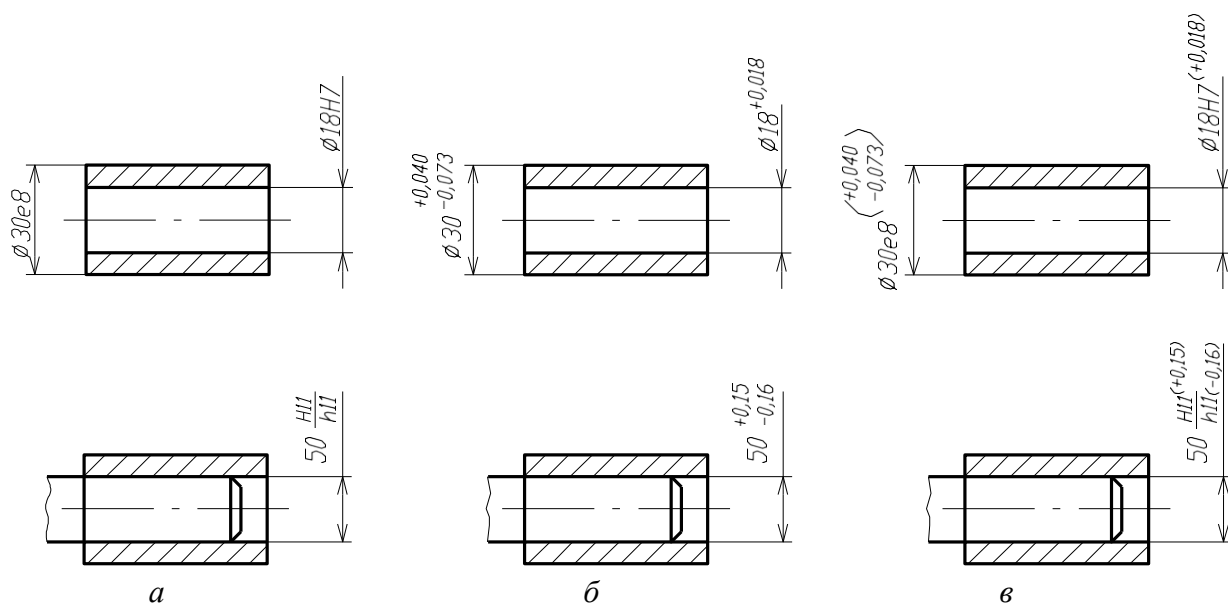


Рисунок 9.7 – Варианты нанесения предельных отклонений на детали

### 9.4.2 Нанесение шероховатости поверхности на чертежах деталей

Проектируя детали, необходимо задавать не только точность, с которой должны быть выдержаны размеры элемента детали, но и допустимую шероховатость ее поверхности. При этом необходимо учитывать экономические факторы (чем выше требования к качеству, тем дороже изготовление), взаимосвязь между способом обработки элемента поверхности и величиной шероховатости, между качеством и числовым значением параметра шероховатости и рекомендации по выбору шероховатости в зависимости от применения детали (среда, климат) (таблица 9.5). Обозначения шероховатости поверхностей наносят в соответствии с ГОСТ 2.309-73 с изменением №3 включительно, принятым Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол №21 от 28.05.2002 г.) (рисунок 9.8, таблица 9.6).

Таблица 9.5 – Рекомендации по выбору шероховатости поверхности

Шероховатость	Условия эксплуатации, применения
Ra 6,3; Rz 40	Поверхности деталей, не соприкасающиеся с другими поверхностями и не используемые в качестве технологических баз
Ra 3,2; Rz 20	Поверхности деталей, прилегающие к поверхностям других деталей, не подвергающиеся износу
Ra 2,5	Базовые поверхности деталей с допусками в пределах квалитетов H8, h8, H9, h9 включительно под гальванические покрытия
Ra 1,25	Трущиеся поверхности и базовые поверхности с допусками в пределах квалитетов h8, h7 и точнее
Ra 0,63	Соприкасающиеся поверхности, хорошо противостоящие износу, с повышенными требованиями к коррозионной стойкости
Ra 0,32	Декоративные поверхности особо высокого качества
Ra 0,18	Поверхности качения особо ответственных деталей

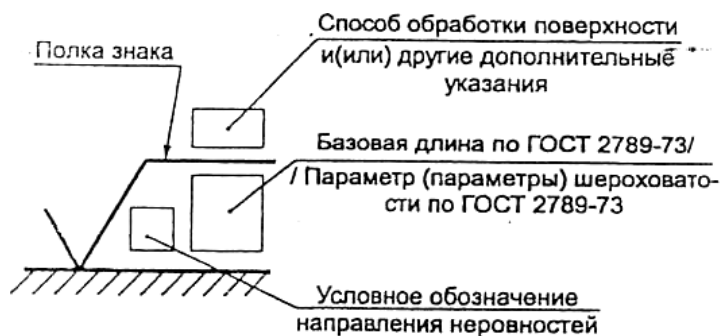


Рисунок 9.8 – Условное обозначение знака шероховатости

Таблица 9.6 – Примеры обозначения шероховатости поверхностей

Обозначение	Обработка поверхности
	По данному чертежу не обрабатываются
	Не устанавливаемая конструктором
	Определено конкретно, например точение или фрезерование
	Указанный вид является единственным, например полировка

Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию.

### 9.4.3 Выбор материалов для изделий электронной аппаратуры

Материалы для изделий ЭЛА определяются исходя из функционального назначения, серийности производства, технического уровня заготовительного производства и экономической целесообразности применения определенного способа изготовления заготовок. Материалы деталей выбирают с учетом специальных требований, предъявляемых к работе не только каждой детали изделия, но и отдельных элементов детали. Это дает возможность уменьшить массу детали, сборочных единиц и изделия ЭЛА в целом.

Для современных требований, предъявляемых к изготовлению деталей изделий ЭЛА, характерны следующие технологические тенденции: максимальное приближение заготовок по формам и размерам к деталям, требующимся по чертежу; экономия материала, применение прогрессивных способов получения заготовок деталей.

Назначая материалы, необходимо учитывать стоимость, надежность, качество, длительность работоспособности детали и условия, в которых будет работать изделие.

Сведения о материалах для деталей приводятся в основной надписи. Желательно, чтобы деталь изготавливалась из сортового материала определенных профиля, размеров и качественной характеристики. Запись о материалах детали

должна содержать сведения о сортаменте (в числителе) и материале (в знаменателе), например:

$$\text{Пруток} \frac{15 \text{ ГОСТ 5949-75}}{12\text{X18H9T} \text{ ГОСТ 5632-72}},$$

где 15 – диаметр прутка; ГОСТ 5949-75 – стандарт на сортament прутка; ГОСТ 5632-72 – стандарт на химический состав высоколегированной коррозионностойкой, жаростойкой и жаропрочной деформируемой стали и сплавов, 12X18H9T – химический состав сплава (0,12 % углерода, 18 % хрома, 9 % никеля, 1 % титана).

Правильно выбрать марку материала и его сортament можно с помощью соответствующих справочников. Ряд материалов для изделий ЭЛА приведен в приложении Н, материалы, используемые для изделий с электромонтажом, – в приложении П. Рекомендуется для курсовых проектов выполнять поиск необходимых материалов и сортамента с помощью поисковых систем в сети Internet.

#### **9.4.4 Особенности оформления чертежей деталей, получаемых литьем**

Ряд деталей может быть получен литьем. Отливки из цветных сплавов, изготовленные методом литья в песчаные формы, кокиль, оболочковые формы, по выплавляемым моделям и под давлением, выполняются согласно нормативно-технической документации. Они подразделяются на две группы отливок: I – общего назначения; II – ответственного назначения, имеющие повышенную прочность. В зависимости от метода литья установлены следующие классы точности для отливок:

- литье под давлением – ЛТ1-ЛТ3;
- литье в кокиль, оболочковые формы – ЛТ5, ЛТ6;
- литье в песчаные формы – ЛТ6, ЛТ7.

При получении деталей литьем в технических требованиях указывают требования к размерам, группам и предельным отклонениям, например:

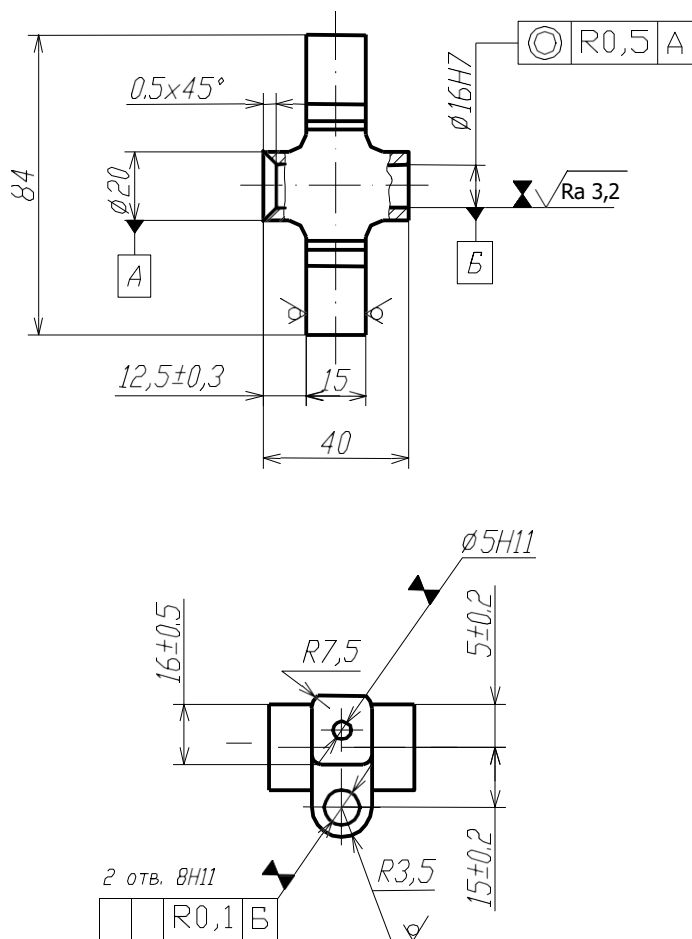
- «Литейные радиусы 0,5 мм max.»;
- «Литейные уклоны до 1°»;
- «Отливка 1 гр.»;
- «Неуказанные предельные отклонения размеров – по ЛТ5».

Пример чертежа литой детали показан на рисунке 9.9.

#### **9.4.5 Обозначение покрытий деталей электронной аппаратуры**

Для повышения коррозионной стойкости поверхности изделия, улучшения механических свойств материала, а также для придания изделию декоративного вида обычно поверхности деталей покрывают покрытиями. Обозначения покрытий устанавливает ГОСТ 9.306-85. Покрытия металлические и неметаллические неорганические и ГОСТ 9.032-74. Покрытия лакокрасочные.

Покрытию могут подвергаться все поверхности деталей или избирательные участки. В нормальных условиях эксплуатации толщина гальванических покрытий 6–9 мкм, в атмосферных и морских – 12–15 мкм.



- 1 Отливка II группы по ГОСТ 977-75.
- 2 Изготовление отливки по II кл. точности по ГОСТ 2009-75.
- 3 Литейные радиусы 4 мм.
- 4 Покрытие: эмаль МЛ, чёрная IV У4.  $F_{\text{покp}} = 53,4 \text{ см}^2$ .
- 5 Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14,  $\pm 0,5IT14$ .

Рисунок 9.9 – Пример оформления чертежа литой детали

Ряд покрытий требует предварительного нанесения подслоя. Никелевое покрытие, наносимое на сталь, требует, например, медного подслоя, а серебряное, наносимое на латунь или бронзу, – медного подслоя. Для применения покрытия из драгоценных металлов, например серебряного, необходимо обоснование. О применении покрытий на чертежах деталей соответствующим образом делаются записи (таблица 9.7).

В обозначениях лакокрасочных покрытий, согласно ГОСТ 9.032-74, в первую группу знаков входят обозначение покрытия по ГОСТ 9.825-73 и, при необходимости, предварительное наименование и группа шпатлёвки с указанием числа слоёв; во вторую группу – обозначение классов покрытий (I–VII); в третью – обозначение условий эксплуатации в части действия климатических факторов (по ГОСТ 9.104-79) и особых сред (по ГОСТ 9.032-74), например:

*«Покрытие эмаль ЭП-140 серая, III.VI»*

Таблица 9.7 – Примеры обозначения покрытий на деталях

Обозначение в технических требованиях	Расшифровка и назначение покрытия
Покрытие Ц9. хр., кроме отверстий	Материал покрытия – цинк, толщина – 9 мкм, последующее хромирование. Наносится на стальные детали, работающие в нормальных условиях внутри корпуса изделия
Покрытие хим.окс.прм.	Покрытие выполнено методом химического оксидирования с промасливанием. Наносится на стальные детали, работающие в нормальных условиях внутри корпуса изделия
Покрытие Кд15.хр.	Материал покрытия – кадмий, толщина – 15 мкм, последующее хромирование. Наносится на стальные детали, работающие в условиях атмосферных осадков и в морском климате
Покрытие М6.Н12	Двухслойное покрытие: I слой – медь толщиной 9 мкм; II слой – никель толщиной 12 мкм. Наносится на латунные или бронзовые детали, работающие в нормальных условиях снаружи корпуса изделия, т.к. обладает хорошими декоративными свойствами
Покрытие М3.Срб	Двухслойное покрытие: I слой – медь толщиной 3 мкм; II слой – серебро толщиной 6 мкм. Наносится на латунные или бронзовые детали, работающие в качестве контактирующих элементов, т.к. обладает малым сопротивлением
Покрытие ан.окс.черн.	Покрытие выполнено методом электрохимического (анодного) оксидирования с чернением. Наносится на детали из алюминиевых сплавов, работающие в качестве теплоизлучающих элементов конструкции внутри корпуса изделия
Покрытие хим.окс.э	Покрытие выполнено методом химического оксидирования, электропроводное. Наносится на детали из алюминиевых сплавов, работающие в нормальных условиях внутри корпуса изделия

#### **9.4.6 Технические требования и техническая характеристика**

Технические требования и техническую характеристику (ТХ) помещают на свободном поле чертежа над основной надписью в виде текстовой части. При недостатке места их продолжают слева от основной надписи. Текст записывают сверху вниз.

Пункты ТТ и ТХ должны иметь самостоятельную нумерацию. Каждый пункт записывают с новой строки, причем строки должны быть не длиннее 185 мм. При выполнении чертежа на двух листах и более ТТ и ТХ помещают только на первых листах.

ТТ на чертеже детали следует приводить в соответствии с ГОСТ 2.316-68. Заголовок «Технические требования» не пишут, если на чертеже помещены только технические требования.

***ТТ рекомендуется излагать в следующем порядке:***

- 1) требования к материалу, заготовке, термической обработке и к свойствам материала готовой детали (например твердость); указание материалов-заменителей;
- 2) размеры (формовочные и штамповые уклоны, радиусы и пр.); предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей; дисбаланс;
- 3) требования к качеству поверхностей (отделке, покрытию);
- 4) зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;
- 5) требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия;
- 6) другие требования к качеству, например, бесшумность, виброустойчивость;
- 7) условия и методы испытаний;
- 8) указания о маркировании и клеймении;
- 9) правила транспортирования и хранения;
- 10) особые условия эксплуатации;
- 11) ссылки на другие документы, содержащие ТТ, распространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

В последнем пункте технических требований в обоснованных случаях необходимо привести следующее требование: *Остальные технические требования по СТБ 1014-95.* СТБ 1014-95 распространяется на детали, изготавливаемые механической обработкой, из металлов, резины, стекла, слоистых диэлектриков, карбонильного железа, кожи, войлока, древесины и применяемые в изделиях приборостроения. Стандарт устанавливает общие технические требования, правила приёмки, методы испытаний, маркировку, упаковку, транспортировку и хранение. В общих технических требованиях содержатся сведения о неуказанных предельных отклонениях размеров, радиусах гибки, вытяжки, закруглений, размерах фасок, глубине зенковки и т.д., например:

– неуказанные предельные отклонения размеров до 1 мм должны быть для отверстий – Н13, валов – h13, остальных –  $\pm IT13/2$ , а размеров свыше 1 мм – для отверстий – Н14, валов – h14, остальных –  $\pm IT14/2$ ;

– неуказанные предельные отклонения угловых размеров должны быть по 16-й степени точности;

– острые кромки должны быть притуплены радиусом 0,3–0,5 мм или фаской под углом 45°;

– резьба должна быть предохранена от попадания краски;

– неуказанные отклонения формы и расположения поверхностей должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 25.069-81.

На чертежах пружин основные ТТ рекомендуется приводить в последовательности, указанной в ГОСТ 2.401-68, а на чертежах изделий, содержащих надписи, – ГОСТ 9.032-74. Указания о маркировании и клеймении изделий наносят на чертеже по ГОСТ 2.314-68.

В ТХ содержатся требования о напряжении питания, потребляемой мощности устройства, рабочем давлении газа или жидкости и т.п.

ТХ следует помещать отдельно от ТТ под заголовком «Техническая характеристика», который располагается над ТТ. Оба заголовка не подчеркивают.

#### **9.4.7 Особенности оформления чертежей плат печатных**

Одними из основных чертежей в курсовом проекте являются чертежи печатных плат. Термины, относящиеся к печатным платам (ПП) и узлам, приведены в ГОСТ 20406-75. Методы конструирования и расчёта содержит ГОСТ 23751-86, общие технические условия приведены в ГОСТ 23752-86. Согласно требованиям, приведенным в ГОСТ 10317-79, размеры каждой стороны должны быть кратными: 2,5 – при длине до 100 мм; 5,0 – при длине до 350 мм; 10,0 – при длине более 350 мм. Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм. Соотношение линейных размеров сторон – не более 3:1. ГОСТ 2.417-78 устанавливает основные правила выполнения чертежей ПП. Чертежи ПП содержат координатную сетку, которую наносят с шагом 1,25 или 2,5 мм. Размеры отверстий, их количество, размеры зенковки и другие сведения помещают в таблице, расположенной на поле чертежа. Печатные элементы (проводники, экраны, монтажные площадки) положено штриховать. При ширине проводника на чертеже менее двух миллиметров их изображают сплошной жирной линией.

Чертежи *односторонних* и *двухсторонних* печатных плат именуют **Плата печатная**. Они относятся к 75 классу, 8 подклассу по классификатору ЕСКД. Например, БГУИ. 758716.003 Плата печатная.

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

Возможно выполнение отдельных слоев многослойной ПП в виде отдельных чертежей аналогично односторонним ПП.

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

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

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

Размеры на ПП наносятся одним из следующих способов:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Параметры элементов рисунка рекомендуется группировать в виде таблицы и размещать ее на свободном поле чертежа. В таблице можно указывать минимально допустимые значения элементов проводящего рисунка (ширины печатного проводника, диаметра контактной площадки и др.). Расположение отверстий допускается обозначать координатным способом.

Рекомендуемый состав и последовательность записи технических требований чертежа:

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

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

#### **9.4.8 Типовые технические требования на чертежах печатных плат**

Двухсторонняя ПП должна содержать следующие технические требования:

- 1 \* Размеры для справок.
- 2 ПП изготовить комбинированным позитивным методом.

- 3 Шаг координатной сетки 1,25 мм, ГОСТ 2.417-78.
- 4 ПП должна соответствовать ГОСТ 23752-86, группа жёсткости 2.
- 5 Класс точности 3 по ГОСТ 23751-86.
- 6 Форма контактных площадок произвольная.
- 7 Допускаемые отклонения очертаний проводников, контактных площадок от заданных чертежом  $\pm 0,1$  мм.
- 8 Покрытие: Хим.М.М 24 О-С (66) 10-12 опл. Покрытие концевых печатных контактов НЗ Зл на размер В с двух сторон платы.
- 9 Маркировать краской маркировочной МКЭЧ черной по ОСТ 4Г0.054.205.VI дату изготовления. Шрифт 3-Пр3 по СТБ 992-95.
- 10 Маркировать травлением, шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95, в узких местах – шрифт 2,0-Пр3:
  - а) позиционные обозначения;
  - б) знаки вспомогательной маркировки. Толщина линий 0,3 мм.
- 11 Допускается смещение маркировки в места, удобные для чтения.
- 12 Предельные отклонения расстояний между осями двух любых концевых печатных контактов  $\pm 0,1$  мм.
- 13 Неуказанные предельные отклонения размеров  $\pm IT 14/2$ .
- 14 Остальные технические требования по СТБ 1014-95.

Чертеж печатной платы дан в приложении Р.

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

- 1 \*Размер для справок.
- 2 Плату изготовить фотохимическим методом.
- 3 Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-86, группа жёсткости 2.
- 4 Предельные отклонения на размеры и расположение элементов конструкции по 3 классу точности ГОСТ 23751-86 обеспечиваются инструментом.
- 5 Неуказанные предельные отклонения размеров: Н14, h14,  $\pm IT 12/2$ .
- 6 Следы перфорации по контуру платы не допускаются.
- 7 Размеры и количество контактных площадок – см. таблицу 1, отверстий – см. таблицу 2 лист 2.
- 8 Печатный монтаж, прямая и обратная маркировки и маска должны соответствовать утвержденным фотошаблонам (см. листы 3, 4, 5, 6).
- 9 Сопротивление изоляции проверять между точками Л и М (см. лист 3).
- 10 Плата предназначена для автоматизированной установки ЭРЭ.
- 11 Допускается разрыв подрезанных контактных площадок в 10 местах.
- 12 Нанести паяльную маску зеленую Fotochem FSR 8000-8G фирма UNION SOLTEK GROUP (Тайвань).
- 13 Маркировать маской белой фотопроявляемой Fotochem FSR 8000-11W фирма UNION SOLTEK GROUP (Тайвань), шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95, в узких местах – шрифт 2,0-Пр3:
  - а) позиционные обозначения;
  - б) знаки вспомогательной маркировки. Толщина линий 0,3 мм.

- 14 Допускается смещение маркировки в места, удобные для чтения.
- 15 Максимальный прогиб платы относительно диагонали не более 3 мм.
- 16 В зоне К допускаются следы технологических отверстий.
- 17 Остальные технические требования по СТБ1014-95.

## 9.5 Оформление сборочных чертежей

При выполнении курсовых проектов по дисциплине ЭЛА исследовательского типа либо по информационным технологиям допускается вместо сборочных чертежей аппаратов приводить их упрощенные варианты.

### 9.5.1 Чертеж общего вида

Чертеж общего вида (по ГОСТ 2.119-73) должен давать сведения о конструкции, взаимодействии составных частей, эксплуатационно-технической характеристике проектируемого изделия и пояснять принцип его работы.

На чертеже общего вида должны быть:

а) изображены виды, разрезы и сечения изделия, нанесены надписи и текстовая часть, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы изделия;

б) указаны наименования (если возможно, то и обозначения) составных частей изделия, для которых объясняется принцип работы, приводятся технические характеристики, указываются материал, количество, и тех составных частей изделия (например органов управления), с помощью которых описывается принцип работы изделия, поясняются изображения общего вида и состав изделия;

в) приведены необходимые размеры и, если требуется, схема (например кинематическая) изделия, техническая характеристика и технические требования.

Чертеж выполняется с максимальными упрощениями, предусмотренными ГОСТ 2.109-73 и другими стандартами. Составные части изделия (в том числе заимствованные и покупные) рекомендуется изображать упрощенно (отдельные – лишь контурными очертаниями), если при этом понятны конструкция, взаимодействие составных частей и принципы работы изделия. Составные части могут изображаться на одном листе с общим видом или на отдельных последующих листах этого чертежа. Наименования и обозначения составных частей изделия должны быть указаны одним из следующих способов:

– на полках линий-выносок, проведенных от деталей, на чертеже общего вида;

– в таблице, размещаемой на чертеже общего вида;

– в таблице, выполненной отдельно в виде последующих листов этого чертежа.

Таблица должна состоять из граф «Поз.», «Обозначение», «Кол.», «Дополнительные указания», а если необходимо, – граф «Материал», «Наименование» и др.

При наличии таблицы номера позиций составных частей изделия должны быть указаны на полках линий-выносок в соответствии с этой таблицей. Реко-

мендуется такая последовательность записи составных частей изделия в таблицу:

- заимствованные изделия;
- покупные изделия;
- вновь разрабатываемые изделия.

Чертеж общего вида следует оформлять в соответствии с правилами, установленными для разработки рабочих чертежей (в отношении расположения номеров позиций, подписей, текста технических требований).

### **9.5.2 Габаритный чертеж**

Габаритный чертеж следует выполнять с максимальными упрощениями, но так, чтобы были видны крайние положения перемещающихся, выдвигаемых или откладываемых частей, рычагов, кареток, крышек на петлях и т.п.

Число видов должно быть минимальным, но достаточным, чтобы дать представление о внешних очертаниях изделия и его выступающих элементах. Изображения изделия следует выполнять сплошными основными линиями, а очертания частей, перемещающихся в крайние положения, – тонкими штрихпунктирными линиями с двумя точками.

На габаритном чертеже допускается изображать тонкими линиями «обстановку» – детали и сборочные единицы, не входящие в состав изделия.

На габаритном чертеже должны быть нанесены габаритные, установочные и присоединительные размеры, определяющие положение выступающих частей, без указания того, что все эти размеры справочные. Установочные и присоединительные размеры, необходимые для увязки с другими изделиями, должны быть с предельными отклонениями. Допускается указывать координаты центра тяжести. На габаритном чертеже можно указывать условия применения, хранения, транспортирования и эксплуатации изделия.

### **9.5.3 Сборочный чертеж**

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

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

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

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

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

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

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

При проектировании сборок необходимо учитывать класс исполнения по условиям эксплуатации.

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

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

***Сборочный чертеж изделия должен содержать:***

- 1) изображение сборочной единицы, позволяющее осуществить ее сборку и контроль;
- 2) размеры с указанием предельных отклонений (и другие параметры и требования), которые проверяются при сборке;
- 3) сопряженные размеры с обозначением посадок (в местах установки на валы и в корпус зубчатых и червячных колес, подшипников, втулок и т.д.);

- 4) основные размеры, характеризующие изделие и его основные составные части (например, для редуктора: межосевое расстояние с допускаемыми отклонениями; направление линии, угла наклона и число зубьев);
- 5) номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- 6) основные технические характеристики изделия;
- 7) габаритные, установочные и присоединительные размеры, а также необходимые справочные размеры;
- 8) технические требования к готовому изделию.

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

- 1) один из размеров замкнутой цепи;
- 2) размеры, перенесенные с чертежей заготовок изделий;
- 3) размеры на сборочном чертеже, по которым определяют предельные положения отдельных элементов конструкции, например ход поршня;
- 4) габаритные размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей или являющиеся суммой размеров нескольких деталей;
- 5) размеры деталей (элементов) из сортового, фасонного, листового и другого проката, если они полностью определяются обозначением материала, приведенным в графе основной надписи;
- 6) размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей и используемые в качестве установочных и присоединительных (с предельными отклонениями элементов, служащих для соединения с сопрягаемыми изделиями).

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

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

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

- Общая линия-выноска с вертикальным расположением позиций допускается:
- для группы крепежных деталей, расположенных в одном месте;
  - для группы деталей с отчетливо выраженной взаимосвязью;
  - при невозможности подвести выноску к каждой составной части.

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

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

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

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

На сборочном чертеже устройства допускается помещать изображение пограничных (соседних) изделий (обстановку) и размеры, определяющие их взаимное расположение. Предметы «обстановки», как правило, выполняются упрощенно и приводятся для определения места изделия. Составные части изделия, расположенные за «обстановкой», изображают как видимые.

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

### 9.5.4 Оформление сборочного чертежа печатного узла

Сборочный чертеж печатного узла должен давать полное представление о характере расположения навесных элементов и способе их установки на платы. Способы установки в соответствии с нормативно-технической документацией приводятся в технических требованиях, а для элементов, отсутствующих в ней, – отдельными видами на поле чертежа.

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

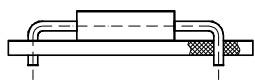
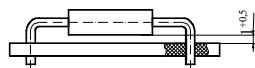
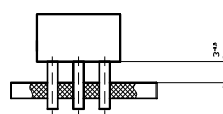


Данные для условного обозначения формовки ИЭТ приведены в таблице 9.8.

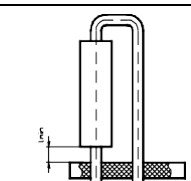

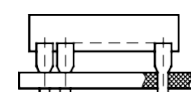
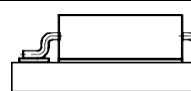
Пример условного обозначения варианта формовки выводов и установки резистора, соответствующего исполнению 14 с длиной корпуса 10,8 мм при использовании зиг-замка:

*140.02.0203.00.02.*

Таблица 9.8 – Варианты типовых конструктивных исполнений формовки ИЭТ

Типовое конструктивное исполнение	Обозначение варианта формовки и установки	Номер чертежа	Шифр позиции ИЭТ	Характеристика ИЭТ
1	2	3	4	5
	010	2	0201–0221	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	011		0301–0341	
	140	2	0201–0221 0301–0341	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	190	–	–	Транзисторы в прямоугольных и цилиндрических корпусах с тремя однонаправленными выводами

Продолжение таблицы 9.8

1	2	3	4	5
	220	3	0401–0407	Резисторы, конденсаторы, диоды, дроссели в цилиндрических и прямоугольных корпусах с двумя осевыми выводами
	320	-	-	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 1 по ГОСТ 17467
	330	-	-	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 2 по ГОСТ 17467
	360 361	18	1101–1113	Микросхемы и другие ИЭТ в корпусах типа 4 по ГОСТ 17467

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

*Установку производить по ГОСТ 29137-91:*

*поз. 3 – вариант 140.02.0203.00.02,*

*поз. 7 – вариант 071.04.0602.12.00,*

*поз. 9 – вариант 301.14.0000.00.00.*

При формовке выводов ИЭТ размером от корпуса ИЭТ до места изгиба вывода  $L_0$  считают размер от корпуса ИЭТ до центра окружности изгиба вывода. При установке ИЭТ на печатные платы размером от корпуса до места пайки вывода считают размер от корпуса ИЭТ вдоль оси вывода до места приложения паяльника или зеркала припоя, в том числе при пайке вывода в металлизированное отверстие.

Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места изгиба при формовке выводов  $L_0$ , мм:

для резисторов, конденсаторов ..... 0,5

для микросхем и других ИЭТ в корпусах типа 4

по ГОСТ 17467-88 ..... 1,0

для полупроводниковых приборов ..... 2,0

для дросселей ..... 3,5

Минимальный внутренний радиус изгиба выводов  $R$ , мм:

для выводов диаметром или толщиной до 0,5

включительно ..... 0,5

для выводов диаметром или толщиной свыше 0,5 до

1,0 мм включительно ..... 1,0

для выводов диаметром или толщиной

свыше 1,0 мм ..... 1,5

В технически обоснованных случаях допускается уменьшать внутренний радиус изгиба выводов до 0,3 мм.

Минимальный размер от корпуса ИЭТ до места пайки – 2,5 мм. Допускается уменьшение указанного размера при условии обеспечения теплоотвода в процессе пайки.

Предельные отклонения размеров между осями двух любых выводов ИЭТ, устанавливаемых в монтажные отверстия, –  $\pm 0,2$  мм, а на контактные площадки –  $\pm 0,1$  мм. Остальные размеры формовки выводов ИЭТ не контролируются и должны быть обеспечены инструментом.

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

В местах крепления установочных деталей (стоек, втулок, скоб) делают местные разрезы. На чертеже приводят также маркировку позиционных обозначений ИЭТ, условные обозначения выводов трансформаторов и реле, нумерацию выходных контактов, полярности элементов согласно принципиальной электрической схеме, а также оговаривается характер стопорения резьбовых соединений, например, по ГОСТ 30133-95, вид 27, красный; размеры – выполняемые по чертежу (посадки, высота радиоэлементов над печатными платами), габаритные, установочные, присоединительные и другие справочные размеры, например обозначения резьб и т.д.

**Типовые технические требования к сборочным чертежам изделий СМЭ, содержащим печатный и объемный монтаж** (блоки ЭЛА, аппараты, приборы и т.п.):

1 \*Размеры для справок.

2 Трущиеся поверхности смазать смазкой ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267-74.

3 Электромонтаж выполнить проводом поз. 16 по схеме электрической принципиальной КПКП. 941132.001 ЭЗ.

4 Паять ПОС-61 ГОСТ 21931-76.

5 Провода, идущие в одном направлении, вязать в жгуты нитками поз. 25, крепить скобками поз. 15.

6 Поверхность контакта транзистора поз. 19 с радиатором поз. 10 покрыть пастой КПП-8 ГОСТ 1978-81.

7 Клей ВК-9 ОСТ 92-0948.

8 ЭРЭ маркировать по ГОСТ 23594-79 в местах, удобных для чтения, краской ТНПФ-53 черной на светлой поверхности и краской ТНПФ-851 белой на темной поверхности. Шрифт 3-Пр41 по СТБ 992-95.

9 Места для клеймения заполнить мастикой №2 ГОСТ 18680-73.

10 Технические требования к конструкциям разделки и соединения экранов проводов по ГОСТ 23586-79.

11 Технические требования на жгут по ГОСТ 23586-79.

12 Технические требования к разделке монтажных проводов и крепления жил по ГОСТ 23587-79.

13 Технические требования к электромонтажу приборных частей соединителей по ГОСТ 23591-79.

14 Технические требования к монтажу ЭРЭ по ГОСТ 23592-96.

15 Остальные технические требования по СТБ 1022-96.

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

1 \*Размеры для справок.

2 \*\*Размеры для формовки выводов элементов обеспечиваются инструментом.

3 \*\*\*Подбирается при регулировании.

4 Установку элементов производить по ГОСТ 29137-91.

5 Шаг координатной сетки 1,25 мм. Элементы ... установить по варианту ...; установку отдельных элементов см. поле чертежа.

6 Позиционные обозначения элементов показаны условно.

7 Технические требования к монтажу ЭРЭ по ГОСТ 23592-96.

8 Технические требования к конструкциям разделки проводов и крепления их жил – ГОСТ 23587-79.

9 ПОС 61 ГОСТ 21931-76.

10 ПОСК 50-18 ГОСТ 21931-76 для...

11 ПСр. 2,5 ГОСТ 19746-74 для...

12 Пайку транзисторов производить при закороченных выводах паяльником с напряжением 6–12 В, мощностью не более 60 Вт в течение не более 3 с.

13 Поверхности соприкосновения транзисторов поз. ... смазать полиметил-оксановой жидкостью ПМС-1000 ГОСТ 13032-77.

14 На выводы транзисторов поз..... надеть трубки поз. ...

15 При пайке, промывке и лакировке недопустимо попадание флюса, припоя, спирта и лака на корпуса элементов.

16 Клей ЭЛ-19 ОСТ 4Г0.029.204.

17 Клей ТК-200 ТУ 6-01-1241-80 для ...

18 Клей К-400 ОСТ 4Г0.029.204 для ...

19 Клей ГИПК-231 ТУ 6-05-251-96-79.

20 Стопорить по ГОСТ 30133-95 поз. ... вид ...

21 Стопорение сердечников катушек после регулировки церезином синтетическим М 100 ГОСТ 7658-74 для ...

22 Покрытие – жидкость гидрофобизирующая 136-41 ГОСТ 10834-76, кроме поверхностей ...

23 Маркировать и клеймить краской ТНПФ-1851 белой. Шрифт 2,5-Пр3 по СТБ 992-95.

24 Остальные технические требования – по СТБ 1022-96.

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

1 \*Размеры для справок

2 Позиционные обозначения элементов показаны условно.

3 Центры симметрии поверхностно-монтируемых элементов установлены в узлах координатной сетки. Предельные отклонения размеров между центрами элементов при установке не более 0,3 мм.

4 Координаты установки поверхностно-монтируемых элементов см. таблицу 1.

5 Поверхностно-монтируемые элементы устанавливать на клей SMD-ADHESIVE «Heraeus» PD 860002 S с последующей пайкой волной припоя.

6 Элементы, обозначенные знаком «\*\*», устанавливать по вариантам исполнений.

7 ПОС-63 ГОСТ 21931-76.

8 Паяльная паста G4(A)-SM 833 NION SOLTEK GROUP (Тайвань).

9 Маркировать дату изготовления и номер платы краской МКЭЧ. Шрифт 3-Пр41 по СТБ 992-95.

10 Остальные ТТ по СТБ 1022-96.

Сборочный чертеж печатной платы приведен в приложении С.

## 9.6 Оформление текстовых документов

Весьма важным видом технической документации являются текстовые документы. К ним относятся различные инструкции, технические условия и описания, документы ремонтные и эксплуатационные, пояснительные записки и т.п. Общие правила оформления текстовых документов регламентированы ГОСТ 2.105-95. Особенности требований к оформлению технологической документации содержатся в ГОСТ 3.1104-81. Правила выполнения текстовых документов устанавливает ГОСТ 2.106-96. В соответствии с требованиями стандартов их выполняют по формам 5 и 5а. Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104-68.

В курсовых проектах допускается пояснительную записку выполнять на обычных листах формата А4 с соблюдением требований ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам, ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ПЗ выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004-88 ЕСКД). Текст ПЗ печатается с количеством знаков в строке 60–75 и межстрочным интервалом, позволяющим разместить  $40 \pm 3$  строк на странице. При компьютерном наборе печать производится шрифтом 13–14 пунктов. Высота строчных букв, не имеющих выступающих элементов, должна быть не менее 2 мм. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определениях, важных особенностях, применяя шрифты разной гарнитуры, выделение с помощью рамок, разрядки, курсива, подчеркивания и пр.

Текст ПЗ следует размещать на листе, соблюдая следующие размеры полей: *левое* – не менее 30 мм, *правое* – не менее 10 мм, *верхнее* – не менее 15 мм, *нижнее* – не менее 20 мм.

Текст ПЗ можно излагать на русском или белорусском языке. Сокращения русских и белорусских слов и словосочетаний в записке – по СТБ 7.12-2001.

В тексте ПЗ применять *не допускается*:

- математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);

- знак «∅» без числового значения для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»);

- без числовых значений математические знаки, например, > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (не равно), а также знаки № (номер), % (процент). Исключение составляют формулы, таблицы, рисунки.

В ПЗ следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417-81.

Наряду с единицами СИ при необходимости в скобках указывают единицы других систем, разрешенных к применению. Применение в ПЗ разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте числа от одного до девяти без единиц измерений следует писать словами.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать в строку, например 1/2".

При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби допускается записывать его в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например 35А – 8С / (20В + 10), при этом действия знаменателя берутся в скобки.

Иллюстрации, таблицы и распечатки ЭВМ, включенные в ПЗ (по тексту или в приложении), должны соответствовать формату А4. Допускается представлять иллюстрации, таблицы и распечатки с ЭВМ на листах формата А3.

Абзацы в тексте начинаются отступом, равным 10–13 мм.

Текст ПЗ делится на разделы, подразделы и пункты. Пункты при необходимости могут делиться на подпункты.

Разделы должны иметь заголовки. Подразделы могут иметь заголовки при необходимости. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

**Заголовки** следует писать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. **Перенос слов в заголовках не допускается.**

Расстояние между заголовком (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять 2–3 строки. Если между двумя заголовками (например раздела и подраздела) текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2,0 строки. Расстояние между предшествующим текстом и новым заголовком рекомендуется делать несколько больше, чем между заголовком и последующим текстом.

Каждый раздел текстового документа рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела, пункты

в пределах подраздела и т.д. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера точку не ставят. Если раздел имеет только один подраздел или подраздел – один пункт, то пронумеровать его не следует.

Пункты при необходимости могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта.

Перечисления внутри пунктов или подпунктов оформляются следующим образом.

Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений – строчную букву со скобкой. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры со скобкой, а запись производится с абзацного отступа, как показано в примере.

*Пример*

а)... :  
1) \_\_\_\_\_ ;  
2) \_\_\_\_\_ ;  
б) \_\_\_\_\_ .

**Страницы** нумеруются арабскими цифрами без точки в правом верхнем углу (ГОСТ 2.105-95) либо в центре нижнего поля (ГОСТ 7.32-2001), учитывая титульный лист, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы на титульном листе, аннотации и задании не ставится.

Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, и распечатки с ЭВМ включают в общую нумерацию страниц записки. Лист формата А3 учитывают как одну страницу.

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту ПЗ (возможно ближе к ссылкам на них в тексте), так и в приложении. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации, за исключением приложений, следует пронумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он также нумеруется: «Рисунок 1».

Допускается пронумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

При ссылках на иллюстрации слово «рисунок» пишут полностью. Например: «... в соответствии с рисунком 1.2».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например: Рисунок В.3.

При необходимости иллюстрации могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают *после пояснительных данных* по центру строки и располагают следующим образом (рисунок 9.10):



Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Заголовки граф, как правило, записывают горизонтально. При необходимости допускается вертикальное расположение заголовков граф. Головка таблицы должна быть отделена линией от остальной части таблицы.

Таблицу помещают после первой ссылки на нее в тексте, если целесообразно, то на следующей странице, а при необходимости – в приложении к записке.

При необходимости помещенные на отдельной странице таблицы могут быть расположены с поворотом страницы на 90°. Номер страницы в этом случае проставляют как на других страницах, без поворота.

Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента и номера, обозначения марок материалов и типоразмеров изделий, обозначения нормативных документов не допускается.

**В формулах** в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены ниже, после слова «где». Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле.

Формулы, следующие одна за другой, разделяют запятой. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак « $\times$ ».

Применение машинописных и рукописных символов в одной формуле не допускается.

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу также нумеруют. Допускается нумеровать формулы в пределах раздела.

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например формула (В.1).

Порядок изложения в ПЗ математических уравнений и неравенств такой же, как и формул.

Материал, дополняющий текст ПЗ, допускается помещать **в приложениях**. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т.д.

Приложения выполняют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах форматов А3, А4×3, А4×4, А2 и А1 по ГОСТ 2.301-68.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ъ.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием сверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения, а под ним в скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного – «рекомендуемое» или «справочное».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Если в ПЗ одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Все приложения должны быть перечислены в содержании ПЗ с указанием их номеров и заголовков.

**Ссылки** на литературные источники указываются порядковым номером (по списку источников), выделенным косыми чертами или квадратными скобками. Например: /3/, [3].

При ссылках слова «таблица», «рисунок», «приложение» следует писать полностью.

В повторных ссылках на иллюстрации и таблицы указывается сокращенно слово «смотри». Пример: *см. таблицу 1.3.*

**Список использованных источников** должен содержать перечень источников, использованных при выполнении курсового или дипломного проекта. Источники располагаются в порядке появления ссылок в тексте. Сведения об источниках следует давать в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003, ГОСТ 7.4-95, СТБ 7.12-2001, ГОСТ 7.82-2001, ГОСТ 7.83-2001.

*Пример оформления списка использованных источников*

#### **Книги**

*1–3 автора:*

1 Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – М. : СОЛОН-Р, 2001. – 580 с.

2 Романычева, Э. Т. AutoCAD. Практическое руководство / Э. Т. Романычева, Т. М. Сидорова, С. Ю. Сидоров. – М. : Радио и связь, 1997. – 385 с.

*4 и более авторов:*

3 Медицинская электроника. Дипломное проектирование / В. М. Бондарик [и др.] ; под ред. А. П. Достанко. – Минск : БГУИР, 2002. – 158 с.

#### **Статьи**

*1–3 автора:*

1 Котов, Д. А. Система электродов для многоканальной электронной стимуляции / Д. А. Котов, А. Н. Осипов, В. М. Бондарик // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – №1(11) / 3. – С. 149–152.

2 Larsen, R. P. Computer-Aided Preliminary Layout Design of Customized MOS Array / R. P. Larsen // IEEE Trans. of Computers. – 1971. – Vol. EC-20, №5. – P. 512–523.

*4 и более авторов:*

3 Влияние параметров ультразвуковых колебаний на процессы перемешивания препаратов крови / В. М. Бондарик [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – №11. – 2004. – С. 70–74.

#### **Авторские свидетельства и патенты**

1 А. с. 436350 СССР. Двоичный сумматор / Ю. Н. Корнеев, С. В. Пискунов, С. И. Сергеев. – Оpubл. в БИ, 1974, №26.

2 Пат. 7300 Беларусь, МКИ А 61N 1 / 44, А 61L 9 / 22. Аэроионизатор / А. Н. Осипов [и др.] (Беларусь). – № а 20000277 ; Заявлено 27.03.2000 ; Оpubл. 30.09.2001 ; Пат. 05.05.2005. – 4 с.

3 Пьезоэлектрический датчик : А. с. 477751 СССР, МКИ В 06 В 1 / 06.

4 Пат. 4893742 США от 16.01.1990. Ultrasonic laser soldering / Bullock P., Hegers Aircraft Co.

#### **Нормативно-технические документы**

1 ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2001. – 35 с.

2 Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования : ГОСТ 29137-91.

#### **Электронные издания**

*на физическом носителе (CD-ROM, DVD-ROM и т.д.):*

1 Большие и малые библиотеки России : справочник [Электронный ресурс] / Рос. библ. ассоц. – Электрон. текстовые дан. (5570560 байт). – М. : Либерия, 2001. – 1 CD-ROM.

*в Интернете:*

2 Мельгуй, О. И. Ультразвуковое перемешивание препаратов крови [Электронный ресурс] / О. И. Мельгуй, В. М. Бондарик. – 11 февраля 2007. – Режим доступа: <http://bmeg.by.ru/ru/body.shtm.ssi/snir#moi>.

3 Библиотека электронных ресурсов Исторического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова [Электронный ресурс] / ред. В. Румянцев. – 2001. – Режим доступа: <http://hronos.km.ru/proekty/mgu>.

В ссылке допускается опускать отдельные элементы записи при условии, что оставшийся набор элементов обеспечит поиск объекта ссылки в библиотеке или других фондах. Так, в ссылке на книгу допускается не указывать ее объем (количество страниц). В ссылке на составную часть документа (например статью) может быть не указано ее название, но при этом обязательно указаны страницы, на которых она опубликована. Если приведено название статьи, то страницы могут не указываться.

В ссылке допускается сокращать названия журналов, издательств, мест изданий в соответствии с правилами, приведенными в ГОСТ 7.12-93; 7.11-78.

В ПЗ после аннотации помещают *содержание*, включающее номера и наименования разделов и подразделов с указанием номеров страниц.

Слово «Содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Медицинская электроника. Дипломное проектирование / В. М. Бондарик [и др.] ; под ред. А. П. Достанко. – Минск : БГУИР, 2002. – 158 с.
- 2 Кореневский, Е. А. Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий / Е. А. Кореневский, Е. П. Попечителей, С. А. Филист. – Курск : Курск. гор. типография, 1999. – 537 с.
- 3 Агаханян, Т. М. Электронные устройства в медицинских приборах : учеб. пособие для вузов / Т. М. Агаханян. – М. : БИНОМ, 2005. – 510 с.
- 4 Попечителей, Е. П. Электрофизиологическая и фотометрическая медицинская техника : учеб. пособие / Е. П. Попечителей, Н. А. Кореневский. – М. : Высш. шк., 2002. – 470 с.
- 5 Попечителей, Е. П. Аналитические исследования в медицине, биологии и экологии : учеб. пособие / Е. П. Попечителей, О. Н. Старцева. – М. : Высш. шк., 2003. – 279 с.
- 6 Системы комплексной электромагнитотерапии : учеб. пособие для вузов / А. М. Беркутов [и др.] ; под ред. А. М. Беркутова [и др.]. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2000. – 478 с.
- 7 Батура, М. П. Теория электрических цепей : учебник / М. П. Батура, А. П. Кузнецов, А. П. Курулев; под общ. ред. А. П. Курулева. – Минск : Высш. шк., 2004. – 606 с.
- 8 Ливенсон, А. Р. Электромедицинская аппаратура : учебник / А. Р. Ливенсон. – М. : Медицина, 1981. – 344 с.
- 9 Улащик, В. С. Общая физиотерапия : учебник / В. С. Улащик, И. В. Лукомский. – Минск : Интерпрессервис, 2003. – 512 с.
- 10 Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : учебник для вузов / С. М. Боровиков. – Минск : Дизайн ПРО, 1998.
- 11 Боровиков, С. М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности : сборник задач / С. М. Боровиков, А. В. Погребняков. – Минск : БГУИР, 2001.
- 12 Кучумов, А. И. Электроника и схемотехника : учеб. пособие для вузов / А. И. Кучумов. – М. : ГелиосАРВ, 2005. – 336 с.
- 13 Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов / С. И. Баскаков. – М. : Высш. шк., 2005. – 462 с.
- 14 Угрюмов, Е. Цифровая схемотехника : учеб. пособие для вузов / Е. Угрюмов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 800 с.
- 15 Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2006. – 715 с.
- 16 Гомоюнов, К. Транзисторные цепи : учеб. пособие / К. Гомоюнов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 240 с.
- 17 Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры : учебник / В. Бойко [и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 464 с.
- 18 Медведев, Б. Л. Практическое пособие по цифровой схемотехнике : учеб. пособие / Б. Л. Медведев. – М. : Мир, 2004. – 408 с.

- 19 Грушвицкий, Р. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р. И. Грушвицкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
- 20 Бойко, В. И. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / В. И. Бойко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.
- 21 Бойко, В. И. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства / В. И. Бойко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
- 22 Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990.
- 23 Справочник по электротехническим материалам / Ю. В. Корицкий [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1986.
- 24 Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы / В. Л. Соломахо [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1988.
- 25 Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов / В. Л. Соломахо [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1990.
- 26 Справочник конструктора точного приборостроения / К. Н. Явленский [и др.] ; под общ. ред. К. Н. Явленского. – Л. : Машиностроение, 1989.
- 27 Ненашев, А. П. Конструирование радиоэлектронных средств : учеб. для радиотех. спец. вузов / А. П. Ненашев. – М. : Высш. шк., 1990.
- 28 Конструирование радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. спец. «Конструирование и технология РЭС» / Н. С. Образцов [и др.] ; под ред. Н. С. Образцова. – Минск : БГУИР, 1994.
- 29 Справочник конструктора РЭС : Компоненты, механизмы, надежность / Н. А. Барканов [и др.] ; под ред. Р. Г. Варламова. – М. : Радио и связь, 1985.
- 30 Разработка и оформление конструкторской документации РЭС : справочник / Э. Т. Романычева [и др.]. – М. : Радио и связь, 1989.
- 31 Единая система конструкторской документации : справочное пособие / С. С. Борушек [и др.]. – М. : Издательство стандартов, 1989.
- 32 Основы конструирования радиоэлектроники / Ж. С. Воробьева [и др.]. – Минск : БГУИР, 2001.
- 33 Груев, И. Д. Электрохимические покрытия изделий РЭА : справочник / И. Д. Груев, Н. И. Матвеев, Н. Г. Сергеева. – М. : Радио и связь, 1988.
- 34 Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – М. : Издат. стандартов, 1989.
- 35 Партала, О. Н. Радиокомпоненты и материалы : справочник / О. Н. Партала. – Киев : Радиоаматор, М. : КУБК-а, 1998.
- 36 Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC / У. Томпкинс [и др.] ; пер. с англ.; под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. – М. : Мир, 1992.
- 37 Аничкин, С. А. Протоколы информационно-вычислительных сетей : справочник / С. А. Аничкин, С. А. Белов, А. П. Кулешова. – М. : Радио и связь, 1990.
- 38 Интерфейсы систем обработки данных : справочник / А. А. Мячев [и др.] ; под ред. А. А. Мячева. – М. : Радио и связь, 1989.

- 39 Емельянов, В. А. Быстродействующие цифровые КМОП БИС / В. А. Емельянов. – Минск : Полифакт, 1998.
- 40 Сташин, В. В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В. В. Сташин, А. В. Урусов, О. Ф. Мологонцева. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
- 41 Дьяконов, В. П. MathCAD 7.0 в математике, физике и Internet / В. П. Дьяконов, И. В. Абраменкова. – М. : «Нолидж», 1999.
- 42 Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP 1/7 + Simulink 5/6 : обработка сигналов и проектирование фильтров / В. П. Дьяконов. – М. : Солон-ПРЕСС, 2005.
- 43 Новгородцев, А. Б. Расчет электрических цепей в MATLAB : учебный курс / А. Б. Новгородцев. – СПб. : Питер, 2004. – 250 с.
- 44 Гюнтер, Б. Форматы данных / Б. Гюнтер; пер. с нем. – Киев : Торгово-издательское бюро ВНУ, 1995.
- 45 Клинов, А. С. Форматы графических файлов / А. С. Клинов. – Киев : НИПФ «ДиаСофт Лтд.», 1995.
- 46 Джамп, Д. AutoCAD. Программирование / Д. Джамп; пер. с англ. ; под ред. А. С. Богданова. – М. : Радио и связь, 1992.
- 47 Pro/ENGINEER. Руководство по обучению основам конструирования. – USA : Parametric Technology Corporation. – 1996.
- 48 Разевиг, В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001 / В. Д. Разевиг. – М. : «СОЛОН-Р», 2001.
- 49 Федоренков, А. AutoCAD 2002 : практический курс / А. Федоренков, А. Кимаев. – М. : «ДЕСС КОМ», 2002.
- 50 Прохоренко, В. П. Solid Works 2005 : практ. руководство / В. П. Прохоренко. – М. : БИНОМ, 2005. – 512 с.
- 51 Мартынов, Н. Н. MATLAB 5.X. Вычисления, визуализация, программирование / Н. Н. Мартынов, А. П. Иванов. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.
- 52 Бондарик, В. М. Системы автоматизированного проектирования : лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» днев. формы обуч. В 3 ч. Ч. 1 : Проектирование печатных плат в PCAD 2001 / В. М. Бондарик, А. М. Криштапович. – Минск : БГУИР, 2004. – 63 с.
- 53 Системы автоматизированного проектирования : лаб. практикум для студ. спец. «Медицинская электроника», «Электронно-оптическое аппаратостроение» днев. и заоч. форм обуч. В 3 ч. Ч. 2 : Проектирование электронной аппаратуры в AutoCAD / В. М. Бондарик [и др.]. – Минск : БГУИР, 2005. – 53 с.
- 54 Станкевич, А. В. 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» днев. формы обуч. / А. В. Станкевич, Д. С. Лихачёв. – Минск : БГУИР, 2004. – 55 с.
- 55 Технология поверхностного монтажа : учеб. пособие / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : «Армита-Маркетинг, Менеджмент», 2000. – 350 с.

- 56 Шимкевич, А. А. Проектирование несущих конструкций электронных устройств : учеб. пособие / А. А. Шимкевич. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2003.
- 57 Зиневич, А. В. Применение ультразвука в медицине / А. В. Зиневич, В. В. Рассветаев. – Л., 1986.
- 58 Квашин, С. Е. Теория, расчет и проектирование низкочастотных ультразвуковых медицинских инструментов : учеб. пособие по курсу «Теория, расчет и проектирование мед. техники» / С. Е. Квашин. – М. : Изд-во МВТУ, 1989.
- 59 Чердынцев, В. А. Радиотехнические системы / В. А. Чердынцев. – Минск : Выш. школа, 1988.
- 60 Камышников, В. С. Справочник по биохимической лабораторной диагностике. В 2 т. / В. С. Камышников. – Минск : Беларусь, 2000.
- 61 Соловьева, Г. Р. Магнитотерапевтическая аппаратура / Г. Р. Соловьева. – М. : Медицина, 1991.
- 62 Темурьянц, Н. А. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире / Н. А. Темурьянц, Б. М. Владимирский, О. Г. Тишкин. Киев : Наук. думка, 1992.
- 63 Баевский, Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. М. Клецкин. – М. : Наука, 1984.
- 64 Демецкий, А. М. Учебное пособие по применению магнитной энергии в практике здравоохранения / А. М. Демецкий, А. В. Цецохо. – Минск, 1990.
- 65 Меерсон, Ф. З. Адаптационная медицина. Концепция долговременной адаптации / Ф. З. Меерсон. – М. : Дело, 1993.
- 66 Алеев, Л. С. «Миотон» в управлении движениями / Л. С. Алеев, М. И. Вовк, В. Н. Горбанев. – Киев : Наук. думка, 1980.
- 67 Основы физиологии функциональных систем / К. В. Судаков [и др.]; под ред. К. В. Судакова. – М. : Медицина, 1985.
- 68 Биотехнические системы : теория и проектирование / В. М. Ахутин [и др.]; под ред. В. М. Ахутина. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1981.
- 69 Калакутский, Л. И. Измерительная система для статистического анализа сердечного режима / Л. И. Калакутский, В. А. Вейнер, С. В. Головкин // Вопросы разработки и внедрения радиоэлектронных средств при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний. – М. : Радио и связь, 1984.
- 70 Электронная аппаратура для стимуляции органов и тканей / А. В. Барковский [и др.]; под ред. Р. И. Утямышева и М. Враны. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
- 71 Электрическая стимуляция мозга и нервов у человека / Н. П. Бехтерева [и др.]. – Л. : Наука, 1990.
- 72 Бакалов, В. П. Электросвязь в биологии и медицине / В. П. Бакалов. – М. : Радио и связь, 1998.
- 73 Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнз; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1989.

74 Шорох, Г. П. Лазеры, плазменный скальпель в неотложной абдоминальной хирургии / Г. П. Шорох, И. Г. Ляндрес, П. М. Назаренко. – Минск : Наука і тэхніка, 1993.

75 ГОСТ 30324.0-95 (МЭК 601-1-88). Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности.

76 ГОСТ 20790-93. Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические условия.

77 ГОСТ 30324.04-2002 (МЭК 60601-1-4:1996). Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности 4. Требования безопасности к программируемым медицинским электронным системам.

78 ГОСТ 30324.10-95 (МЭК 601-2-10-84). Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования к стимуляторам нервов и мышц.

79 ГОСТ 29137-91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования.

80 ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкций.

81 ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.

82 ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

83 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

84 ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.

85 ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

86 ГОСТ 7.12-93. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.

87 ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

88 ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления.

89 ГОСТ 7.83-2001. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения.

90 СТБ 992-95. Шрифты для надписей, наносимых на изделия машиностроения. Начертания и размеры.

91 СТБ 1014-95. Изделия машиностроения. Детали. Общие технические условия.

92 СТБ 1022-96. Изделия машиностроения. Сборочные единицы. Общие технические условия.

93 СТБ 1019-2000. Разработка и постановка медицинских изделий на производство.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

#### ПРОЕКТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛЕЧЕБНОЙ АППАРАТУРЫ

Тема курсовой работы: Аппарат для местной дарсонвализации

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- 1 Масса аппарата: не более 350 г.
- 2 Габаритные размеры аппарата без электродов: не более 260x46x75 мм.
- 3 Амплитуда импульсов на основном электроде должна регулироваться в диапазоне  $U_{\min} = 3,0(\pm 2,0)$  кВ,  $U_{\max} = 14,0(+8,0 - 5,0)$  кВ.
- 4 Частота следования импульсов низкочастотных колебаний:  $20 \pm 8$  Гц.
- 5 Частота импульсов заполнения:  $100 \pm 20$  кГц.
- 6 Ток потребления: не более 300 мА.
- 7 Питание: от источника питания напряжением  $(3,0 \pm 0,3)$  В
- 8 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.
- 9 Остальные требования уточняются в процессе проектирования.

#### СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Введение.

- 1 Анализ современных способов и устройств для лечебного воздействия импульсным ВЧ-током (включая патентный обзор).
- 2 Анализ задания на курсовую работу.
- 3 Разработка электрической схемы.
  - 3.1 Обоснование электрической структурной схемы.
  - 3.2 Разработка электрической принципиальной схемы.
  - 3.3 Электрический расчет блоков устройства.
    - 3.3.1 Задающий генератор.
    - 3.3.2 Блок коммутатора
    - 3.3.3 Выходной каскад.
- 4 Моделирование работы схемы в среде Electronics Workbench.
  - 4.1 Исследование переходных процессов и частотных характеристик аппарата.
  - 4.2 Моделирование работы схемы аппарата
- 5 Разработка конструкции устройства.
  - 5.1 Выбор и обоснование комплектующих элементов и материалов конструкции устройства.
    - 5.1.1 Обоснование выбора активных и пассивных элементов.
    - 5.1.2 Обоснование конструкторского исполнения устройства, выбор вида электрического монтажа.
    - 5.1.3 Обоснование выбора материалов.
  - 5.2 Расчет основных компоновочных характеристик устройства.
  - 5.3 Расчет показателей надежности устройства с учетом электрического режима и условий работы элементов.
  - 5.4 Расчет электромагнитной совместимости.
  - 5.5 Расчет и разработка печатной платы (с использованием САПР).
  - 5.6 Разработка конструкции аппарата.

## Продолжение приложения А

Заключение.

Список использованных источников.

Приложение А – Результат расчетов, полученных с помощью ЭВМ.

Приложение Б – Спецификация сборочных единиц, перечень элементов электрической принципиальной схемы.

### ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

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

### ПРОЕКТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ВИДА

Тема курсовой работы: Исследование характеристик прибора интенсивной магнитной терапии

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- 1 Схемы электрические: *структурная и принципиальная прибора.*
- 2 Питание: *от сети переменного тока 220 В 50 Гц.*
- 3 Габаритные размеры, мм, не более: прибора 350х220х150;  
индуктора 150х30х15.
- 4 Масса прибора: не более 1,5 кг.
- 5 Потребляемая мощность: не более 20 ВА.
- 6 Условия эксплуатации: класс II, группа NF по ГОСТ Р 50267.0-92.
- 7 Электрические характеристики на выходе прибора:  
амплитудное значение магнитной индукции 40 мТл;  
частота следования импульсов 10 Гц;  
длительность импульса 12 мс.
- 8 Погрешность контроля магнитного поля, не более  $\pm 10\%$ .
- 9 Остальные требования уточняются в процессе проектирования.

#### СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Введение.

- 1 Анализ современных способов, устройств и методик исследования их характеристик по данному направлению проектирования, включая патентные исследования.
- 2 Анализ задания на курсовое проектирование.
- 3 Разработка методики исследования.
  - 3.1 Разработка схемы (структурной, функциональной) исследований.
  - 3.2 Выбор технических средств для проведения исследований.
  - 3.3 Выбор основных расчетных соотношений и уравнений.
- 4 Разработка схемы электрической и конструкции оснащения для проведения исследований.
  - 4.1 Разработка и расчет электрической принципиальной схемы.
  - 4.2 Выбор конструкции приспособлений.

## Продолжение приложения А

5 Экспериментальные исследования устройства.

5.1 Исследование влияния параметров активирующих воздействий на выходные характеристики прибора.

5.2 Физические модели воздействия активирующих факторов.

6 Моделирование и оптимизация исследуемого процесса в среде MatLab.

6.1 Разработка методики моделирования и выбор алгоритма.

6.2 Моделирование процесса.

6.3 Оптимизация параметров исследуемого процесса на модели.

7 Рекомендации по использованию результатов исследований.

Заключение.

Список используемых источников.

Приложение А – Распечатки программ и результатов расчета, полученных на ПЭВМ.

Приложение Б – Спецификации сборочных единиц, перечень элементов электрической принципиальной схемы.

### ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

1 Схема исследования – 0,5–1 лист формата А1.

2 Графики исследований – 0,5–2 листа формата А1.

3 Математические модели и факторные пространства – 0,5–1 лист формата А1.

4 Электрическая принципиальная схема исследовательского оснащения – 0,5–1 лист формата А1.

5 Сборочный чертеж исследовательского оснащения – 0,5–1 лист формата А1.

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

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

## Продолжение приложения В

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

Продолжение приложения В

1	2
Переключатели галетные	0,40**
Переключатели малогабаритные	0,30**
Переключатели малогабаритные модульные (П2К) с независимой фиксацией	0,30**
Переключатели малогабаритные модульные (П2К) с зависимой фиксацией	0,37**
Микропереключатели типа МП	0,30*
Штекеры (гнезда) телевизионные	2,12
Лепесток контактный	0,20
Плата (колодка) контактная межблочного монтажа	0,40*
Провод монтажный	0,30****
Кабели (шнуры)	0,60****
Кабели (шнуры) питания	2,00****
Держатели предохранителей	0,20
Предохранители	5,00
Изоляторы	0,50
Шайбы, прокладки изолирующие	0,75
Соединения пайкой, ток постоянный	0,04
Соединения пайкой, ток пульсирующий	0,40
Соединения накруткой	0,02
Платы печатного монтажа	0,20
Линии задержки	0,75
Фильтры пьезокерамические	0,25
Резонаторы кварцевые	0,37
Магнитопроводы ленточные	0,10
Ферритовые элементы	0,01
Головки магнитные малогабаритные	7,50
Электродвигатели асинхронные, сельсины	12,30
Электродвигатели синхронные	0,51
Электродвигатели постоянного тока	13,40
Батареи однозарядные	43,00
Батареи заряжаемые	2,00
Аккумуляторы	10,30
Датчики электромеханические пассивные	15,00
Конструкции несущие легкоъемных субблоков	0,10
Конструкции несущие РЭА	3,00
Пружины	2,20
Соединения механической пайкой	0,06
Соединения винтами 3...5 мм	0,001

*Примечания*

1 Значения интенсивностей отказов элементов, помеченные символом, приведены соответственно:

\* – на один контакт при номинальном токе;

\*\* – на одну контактную группу при номинальном токе;

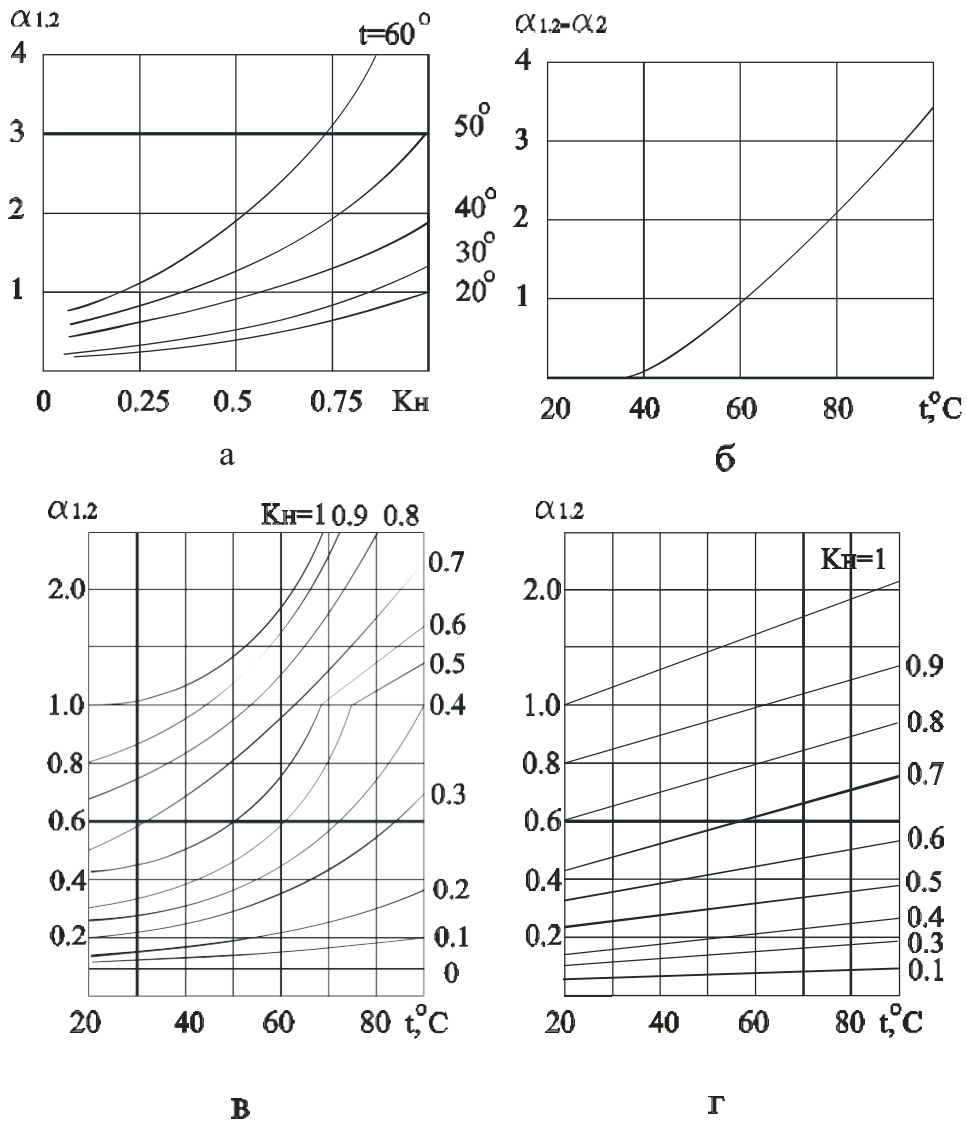
\*\*\* – на один штырек при номинальном токе;

\*\*\*\* – на каждый метр длины при номинальной плотности тока в проводе (неполный метр длины должен считаться как один метр).

2 При использовании безвыводных компонентов и технологии поверхностного монтажа значения интенсивностей отказов компонентов можно уменьшать примерно на 50 %

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

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



а – для контактных элементов (разъемы, реле, переключатели и т.п.);

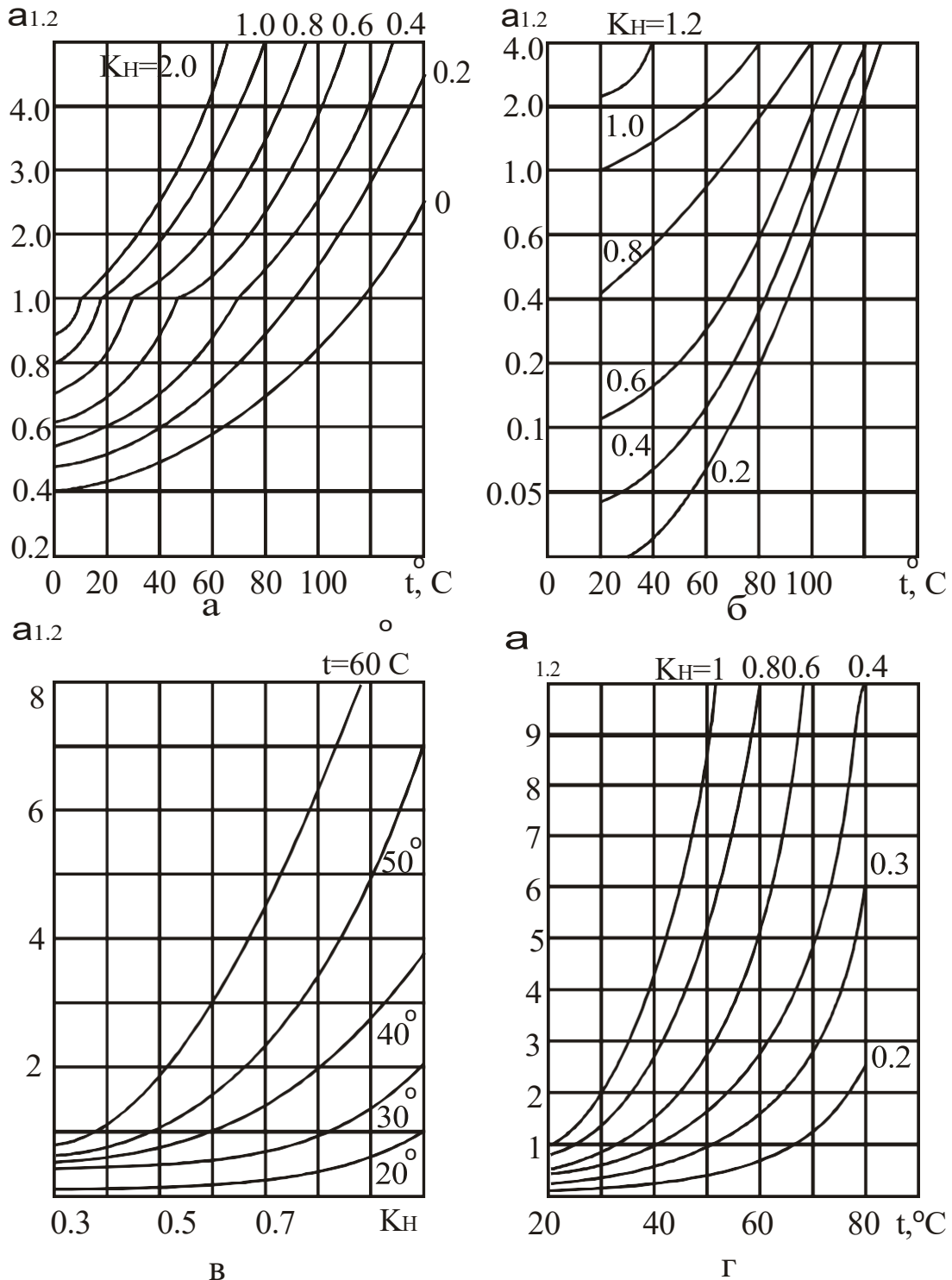
б – для соединений пайкой;

в – для резисторов типов С2-23 и ОМЛТ;

г – для переменных проволочных резисторов

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

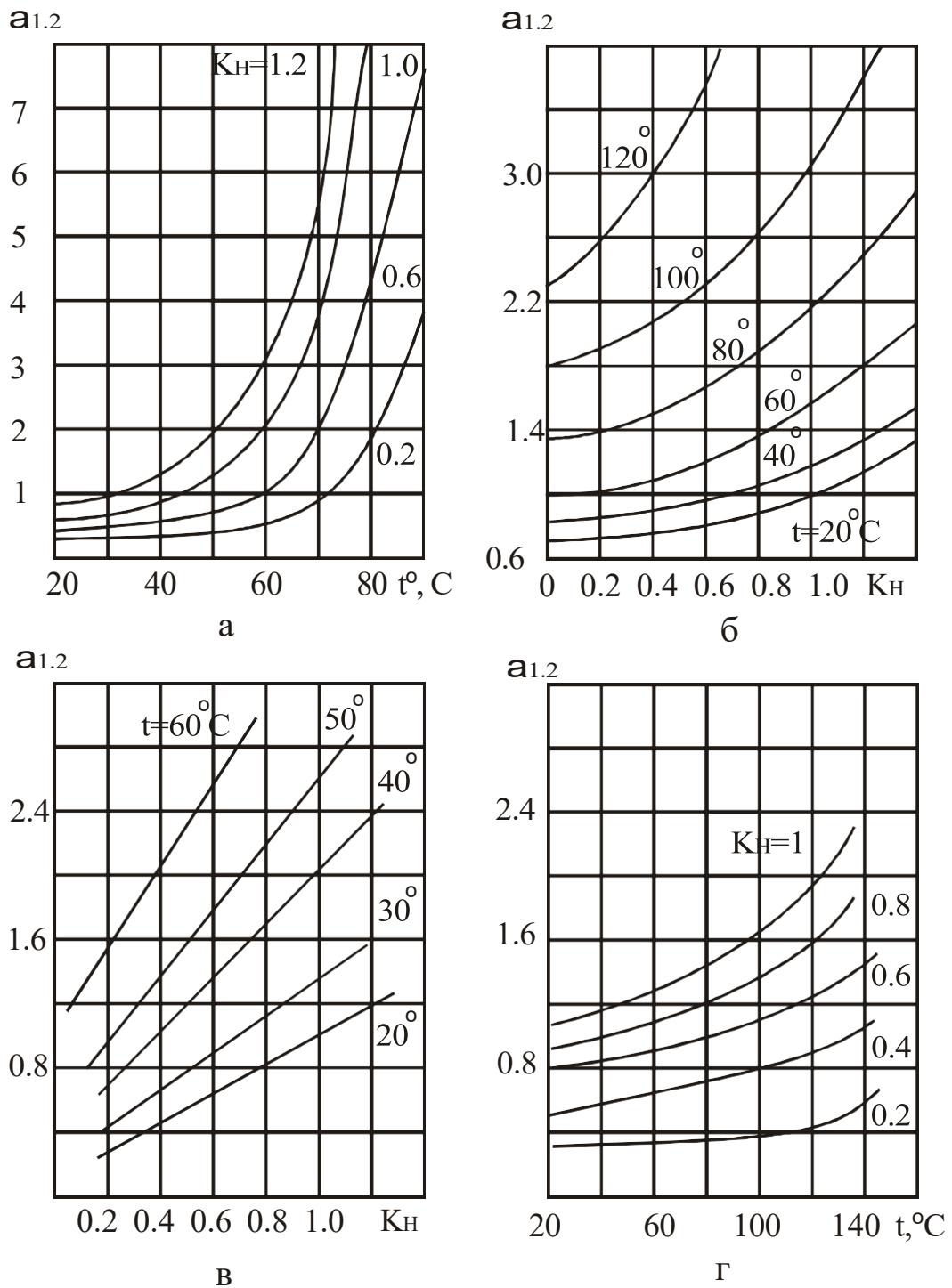
Продолжение приложения Г



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

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

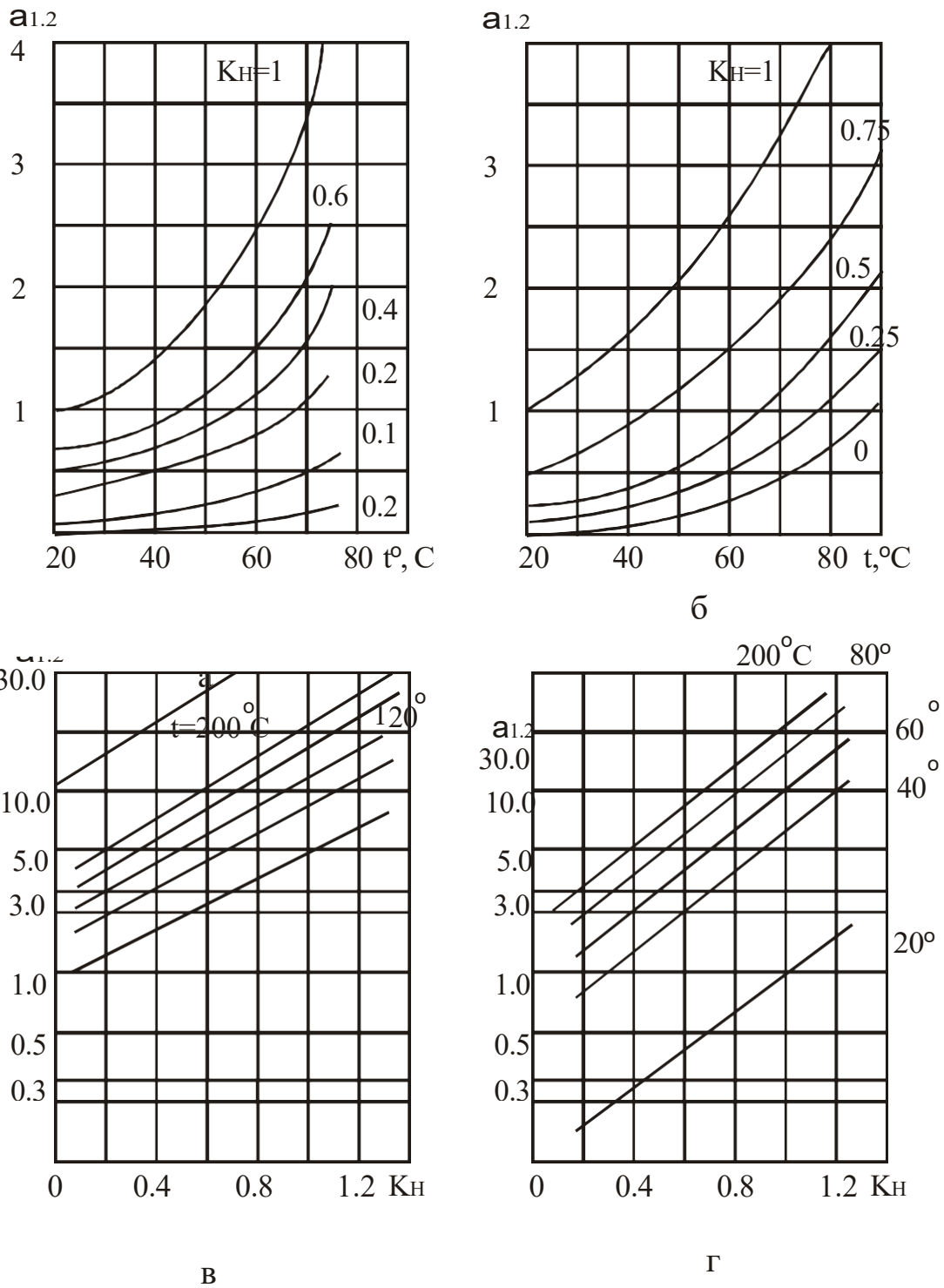
Продолжение приложения Г



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

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

Продолжение приложения Г



а – для кремниевых высокочастотных транзисторов;  
 б – для германиевых высокочастотных транзисторов;  
 в – для полупроводниковых цифровых интегральных микросхем;  
 г – для полупроводниковых линейно-импульсных интегральных микросхем  
 Рисунок Г.4 – Обобщенные зависимости поправочного коэффициента  $\alpha_{1.2}$  от температуры и коэффициента нагрузки

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Значения поправочных коэффициентов**  
**(составлено для учебных целей)**

Значения поправочных коэффициентов  $\alpha_3$ ,  
 учитывающих влияние механических воздействий [10]

Условия эксплуатации	Значение $\alpha_3$
Лабораторные	1,00
Стационарные	1,07
Полевые	1,07
Корабельные	1,37
Автомобильные	1,46
Железнодорожные	1,57
Самолетные	1,65

Значения поправочных коэффициентов  $\alpha_4$ ,  
 учитывающих влияние относительной влажности [10]

Относительная влажность	Значение $\alpha_4$
60...70 % при $t = 20...40$ °С	1,0
90...98 % при $t = 20...25$ °С	2,0
90...98 % при $t = 30...40$ °С	2,5

Значения поправочных коэффициентов  $\alpha_5$ ,  
 учитывающих атмосферное давление (высоту над уровнем моря) [10]

Высота, км	Значение $\alpha_5$	Высота, км	Значение $\alpha_5$
0...1	1,00	5...6	1,16
1...2	1,05	6...8	1,20
2...3	1,10	8...10	1,25
3...5	1,14	10...15	1,30

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**Средние значения случайного времени восстановления  $\tau_j$  элементов  
и функциональных частей электронной аппаратуры (для учебных целей) [10]**

Элемент, функциональная часть РЭУ	$\tau_j$ , ч
Цифровые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,5
Цифровые интегральные микросхемы большой и сверхбольшой степени интеграции	0,5
Аналоговые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,2
Транзисторы большой мощности	0,7
Транзисторы средней и малой мощности	0,8
Резисторы постоянные	0,5
Резисторы переменные	1,2
Конденсаторы неполярные	1,1
Конденсаторы электролитические	0,55
Диоды (кроме выпрямительных)	0,6
Диоды выпрямительные	0,4
Блоки (мосты) выпрямительные	0,3
Стабилитроны	0,5
Переключатели	0,7
Соединители (разъёмы)	2,0
Катушки индуктивности	1,3
Трансформаторы	2,2
Дроссели	1,4
Предохранители	0,1
Платы печатного монтажа	3,0
Монтажные провода	0,5
ТЭЗы устройств цифровой обработки информации	0,5
Индикаторные устройства	1,5
Сигнальные и индикаторные лампочки	0,2
Реле	2,6
Тумблеры, кнопки	0,6
Зажимы, гнёзда, клеммы	0,8
Шнуры питания	0,3
Пайки	0,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж  
**Пример расчета надежности электронного блока  
с помощью программы АСРН**

**Расчет надежности модуля: Блок 1**

**I Основные исходные данные**

- 1 Расчет в режиме: эксплуатации
- 2 Группа аппаратуры: 3.3, 3.4
- 3 Температура окружающей среды °C: 25

**II Методический документ:**

Справочник «Надежность электрорадиоизделий»

**III Расчет суммарной интенсивности отказов входящих модулей и ЭРИ:**

Модуль: Плата1

Тип ЭРИ	Количество	Схемная позиция	$\square_6$ (бег)	$\square_3$ , 1/ч	$\square_3 * n$ , 1/ч
Интегральные микросхемы					
Микроконтролер	1	DD1	-	$0.91 \cdot 10^{-6}$	$0.91 \cdot 10^{-6}$
Полупроводниковые приборы					
2Д522Б	1	VD1	$0.55 \cdot 10^{-7}$	$0.41 \cdot 10^{-7}$	$0.41 \cdot 10^{-7}$
2Т825А - В	1	VT1	$0.6 \cdot 10^{-7}$	$0.99 \cdot 10^{-7}$	$0.99 \cdot 10^{-7}$
Приборы пьезоэлектрические и фильтры электромеханические					
РК259	1	ZQ1	$2.3 \cdot 10^{-8}$	$0.81 \cdot 10^{-7}$	$0.81 \cdot 10^{-7}$
Резисторы					
Р1-8	1	R1	$0.4 \cdot 10^{-7}$	$0.48 \cdot 10^{-7}$	$0.48 \cdot 10^{-7}$
Р1-12	5	R2-R6	$0.65 \cdot 10^{-7}$	$0.79 \cdot 10^{-7}$	$0.39 \cdot 10^{-6}$
Конденсаторы					
К10-17а	2	C1-C2	$3 \cdot 10^{-8}$	$0.61 \cdot 10^{-8}$	$1.21 \cdot 10^{-8}$
Коммутационные изделия					
КЭМ-6	1	K1	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Итого для модуля:					$0.36 \cdot 10^{-5}$

ЭРИ, находящиеся непосредственно в модуле: Блок 1

Тип ЭРИ	Количество	Схемная позиция	$\square_6$ (бег)	$\square_3$ , 1/ч	$\square_3 * n$ , 1/ч
Коммутационные изделия					
кнопка	5	SA1-SA5	$1.6 \cdot 10^{-7}$	$0.77 \cdot 10^{-8}$	$0.39 \cdot 10^{-7}$
Соединители низкочастотные и радиочастотные					
РБН1	1	XP1	$0.8 \cdot 10^{-9}$	$2.77 \cdot 10^{-10}$	$2.77 \cdot 10^{-10}$
Итого для модуля:					$0.39 \cdot 10^{-7}$

**IV Итого для модуля: Блок 1**

Шифр модуля	Децимальный номер	Количество	Схемная позиция	$\square_3$ , 1/ч	$\square_3 * n$ , 1/ч
Плата1	БГУИ.943011.001	1	A1	$0.36 \cdot 10^{-5}$	$0.36 \cdot 10^{-5}$
ЭРИ, находящиеся непосредственно в модуле:					$0.39 \cdot 10^{-7}$
Итого для модуля:					$0.36 \cdot 10^{-5}$

ПРИЛОЖЕНИЕ И  
Примеры некоторых классов классификатора ЕСКД

№ класса	Наименование класса	Подклассы								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	Сборочные единицы общемашиностроительные	Устройства базовые	Трубопроводы и их элементы	Устройства, передающие движение	Устройства направляющие, ограничительные и передающие движение	Устройства защитные, закрывающие, уплотнительные, пояснительные	Устройства гидравлические, пневматические, смазочные			
40	Средства измерений линейных и угловых размеров, параметров движения, времени, силы, массы, температуры, давления, расхода количества	Средства измерений линейных и угловых размеров	Средства измерений параметров движения (приборы)	Средства измерений времени	Средства измерений силы и массы	Средства измерений температуры	Средства измерений давления, уровня, расхода	Средства измерений давления, уровня, расхода (кроме манометрических)	Составные части средств измерений	
41	Средства измерений электрических и магнитных величин, ионизирующих излучений	Средства измерений электрических и магнитных величин	Средства измерений ионизирующих излучений	Средства определения состава и свойств газов	Средства определения состава и свойств жидкостей	Средства определения состава и свойств сыпучих веществ. Средства универсальные		Составные части средств измерений		
67	Трансформаторы. Конденсаторы. Аппараты электрические. Электромагниты.	Трансформаторы, дроссели (мощностью до 5 кВА)	Трансформаторы, дроссели (мощностью свыше 5 кВА)	Конденсаторы	Аппараты электрические	Источники света	Приборы и комплексы световые	Электромагниты		

## Продолжение приложения И

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
68	Электрооборудование. Монтаж механический					Устройства токопроводящие	Устройства электроизолирующие	Устройства электромонтажные. Монтаж механический		
71	Детали – тела вращения типа колец, дисков, втулок, стержней, стаканов, валов, осей и т.п.	С L/D до 0,5 включительно		С L/D св. 0,5 до 2,0 включительно		С L/D свыше 2,0				
		С нар. поверхн. цилиндр.	С нар. поверхн. конич., комбинир.	С нар. поверхн. цилиндр.	С нар. поверхн. конич., комбинир.	С нар. поверхн. цилиндр.	С нар. поверхн. конич., комбинир.			
73	Детали – не тела вращения: корпусные, опорные	Корпусные		Опорные		Емкостные (крышки, коробки, футляры и т.п.)				
		без плоскости разъема	с плоскостью разъема	рамы, основания	кронштейны, стойки					
75	Детали – тела вращения и (или) не тела вращения: оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные	Ползуны, вилки	Арматуры, с перфорир. отв. и др.	С элементами тел вращения и не тел вращения, пружины, ручки	Уплотнительные, маркировочные, платы печатные	Оптические с рабочими поверхностями плоскими, лазеров, волоконной оптики		Электро-радио-электронные	Крепежные	
94	Медицинская техника	Комплексы медицинской техники. Приборы медицинские. Аппараты медицинские	Инструменты медицинские. Средства замещения функций органов и систем организма. Оборудование медицинское	Составные части медицинской техники						

Примечание – L, D – соответственно, длина и диаметр детали – тела вращения



**ПРИЛОЖЕНИЕ К**  
**Буквенный код наиболее распространённых видов элементов**

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
1	2	3	4
А	Устройство (общее обозначение)		
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот; аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель Магнитострикционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин-приёмник Телефон (капсюль) Сельсин-датчик Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	ВА ВВ ВД ВЕ ВF ВС ВК ВL ВМ ВР ВQ ВR BS BV
С	Конденсаторы		
Д	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки	DA DD DS DT
Е	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон	EK EL ET
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия То же инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FA FP FU FV
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB

Продолжение приложения К

1	2	3	4
Н	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор сигнализации	НА НГ НЛ
К	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	КА КН КК КМ КТ КV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
М	Двигатели		РА
Р	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Счётчик импульсов Частотомер ( <i>Примечание.</i> Сочетание РЕ не допускается) Счётчик активной энергии Счётчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	РА РС РF РI РK РR РS РТ РV РW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание, оборудование и т.д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	QF QK QS
R	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	RK RP RS RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический (для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей) Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	SA SB SF

Продолжение приложения К

1	2	3	4
		от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения от температуры	SL SP SQ SR SK
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Электромагнитный стабилизатор Трансформатор напряжения	TA TS TV
U	Устройства связи Преобразователи электрических величин в электрические	Модулятор Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UB UR UI UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон Прибор электровакуумный Транзистор Тиристор	VD VL VT VS
W	Линии и элементы СВЧ, антенны	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор, неоднородность, фазовращатель Аттенюатор Антенна	WE WK WS WT WU WA
X	Соединители контактные	Токосъёмник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный	XA XP XS XT XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плита	YA YB YC YH
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	ZL ZQ

**ПРИЛОЖЕНИЕ Л**  
**Пример выполнения перечня элементов**  
**к схеме электрической принципиальной**

	Поз. обозн.	Наименование	Кол	Примечание					
Перв. прим.		<u>Конденсаторы</u>							
		K10-17В ОЖО.464.145ТУ							
		K50-35 ОЖО.464.214ТУ							
Справ. N	C1..C4	K10-17В-6,3В-0,1мкФ±10%	4						
	C5	K50-35-16В-10мкф±20%	1						
	C6,C7	K10-17В-6,3В-0,47мкФ±10%	2						
	C8	K10-17В-6,3В-75пФ	1						
	C9	K10-17В-6,3В-4700пФ±10%	1						
	C10,C11	K10-17В-6,3В-0,1мкФ±10%	2						
	C12	K10-17В-6,3В-0,47мкФ±10%	1						
		<u>Микросхемы</u>							
Полп. и дата	DA1..DA3	AD623A	3						
	DA4	TSLM1100	1						
	DA5	TLV2711DBV	1						
	DD1	TPS1100PW	1						
Инв. N дубл.	DD2	TPS7330	1						
	DD3	MSP430P325	1						
	DD4	TIR1000	1						
Взам. инв. N									
Полп. и дата									
		<b>БГУИ.943821.001 ПЭЗ</b>							
Инв. N подл.	Изм.	Лист	N докум	Подл	Дата	<b>Блок управления</b> <b>Перечень элементов</b>	Лит	Лист	Листов
	Разраб		Литвиненко				о	1	2
	Пров		Бондарик						
	Н.контр		Телеш						
	Утв		Осипов						
		БГУИР гр.211801							



ПРИЛОЖЕНИЕ М  
Пример выполнения спецификации

Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Прим.
<u>Документация</u>						
A2			БГУИ.943821.001СБ	Сборочный чертеж		
A3			БГУИ.943821.001 ЭЗ	Схема электрическая принципиальная		
A4			БГУИ.943821.001 ПЭЗ	Перечень элементов		
<u>Детали</u>						
A2		1	БГУИ.758713.001	Плата печатная	1	
A4		2	БГУИ.758911.001	Прокладка	1	
A4		3	БГУИ.758911.002	Прокладка	1	
<u>Прочие изделия</u>						
		4		Вилка ВН-10 G	1	XP1
		5		Вилка ВН-14 G	1	XP2
		6		Вилка PLD-2 G	1	XP3
		7		Конденсатор ОЖО.464.145ТУ		
				K10-17в-6,3В-74пФ	1	С9
		8		Конденсатор ОЖО.464.145ТУ		
				K10-17в-6,3В-0,1мкФ±10%	6	С1,С4, С10,С11
		9		Конденсатор ОЖО.464.145ТУ		
				K10-17в-6,3В-0,47мкФ±10%	3	С6,С7,С12
		10		Конденсатор ОЖО.464.145ТУ		
				K10-17в-6,3В-0,56мкФ±10%	1	С8
<b>БГУИ.943821.001</b>						
Изм		Лист	№ докум	Подп	Дата	
Инь.Испол.	Разраб	Литвиненко				Лит
	Пров	Бондарик				Лист
	Н.контр	Телеш				Листов
	Утв	Осипов				0
				<b>Плата</b>		1
						2
БГУИР гр.211801						



ПРИЛОЖЕНИЕ Н  
Материалы, наиболее часто применяемые при разработке ЭЛА

Обозначение	Наименование	Область применения
1	2	3
<b>Черные металлы и сплавы</b>		
Лист $\frac{X/K \ 1 \times 1000 \times 200 \text{ ГОСТ } 3681 - 57}{0.8 \text{ КП ГОСТ } 16523 - 70}$	Сталь углеродистая качественная холоднокатаная тонколистовая нормальной точности прокатки	Изготовление корпусов, панелей, уголков, кронштейнов и т.п.
Шестигранник $\frac{22(h11) \text{ ГОСТ } 8560 - 67}{40 \text{ ГОСТ } 1051 - 73}$	Сталь углеродистая качественная 0,40 % углерода, в виде шестигранника размером 22 мм	Изготовление стоек, втулок, кронштейнов и т.п.
Круг $\frac{15(h11) \text{ ГОСТ } 1415 - 81}{20 \text{ ГОСТ } 1051 - 73}$	Сталь углеродистая качественная 0,20 % углерода, в виде круга с диаметром 20 мм	Изготовление стоек, втулок, осей и т.п.
Лента 65-Г-С-ПН-0,5x80 ГОСТ 2283-79	Лента стальная на пружинной стали 65 Г, холоднокатаная нормальной точности изготовления, толщина 0,5 мм; ширина 80 мм; С – светлая; ПН – полунагартованная	Изготовление пружин, держателей, ручек и т.п.
Лента 0,05x150-2-79 НМ ГОСТ 10160-79	Лента из железоникелевого сплава с высокой магнитной проницаемостью, 0,05 – толщина, мм; 150 – ширина, мм; 2 – класс; 79 НМ – марка	Изготовление сердечников трансформаторов
Проволока 1-2,0 ГОСТ 9389-7	Проволока стальная углеродистая пружинная холоднокатаная нормальной точности изготовления (I, II класса), диаметр 2 мм	Изготовление пружин, держателей, ручек и т.п.
Проволока 0,3-3а-Х20Н80 ГОСТ 12766.1-77	Проволока из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением	Изготовление резисторов, реостатов, нагревательных элементов
Круг $\frac{5 - 3 - В - Н \text{ ГОСТ } 14955 - 77}{У8А \text{ ГОСТ } 1435 - 75}$	Сталь круглая инструментальная углеродистая со специальной отделкой поверхности	Изготовление изделий с особыми требованиями к твердости поверхности (пуансоны в штампах, штифты и т.п.)

Продолжение приложения Н

1	2	3
<b>Цветные металлы и сплавы</b>		
Лист АМц М 3 ГОСТ 1613-76	Лист из алюминиевого сплава АМц, толщиной 3 мм, М – отожженный	Изготовление корпусов, панелей, уголков и т.п.
Пруток Д16Т-10.0 ГОСТ4783-68	Пруток из дюралюминия диаметром 10 мм	Изготовление стоек, втулок и накладок
Лента ЛС 59-1-0.5×175 ГОСТ 2208-71	Лента латунная, толщиной 0,5 мм, шириной 175 мм	Изготовление экранов, лепестков, корпусов и т.п.
Лента Бр Б2 - М - 0,3х50 - Н ГОСТ 1789-70	Лента из бериллиевой бронзы, толщиной 0,3 мм, шириной 50 мм	Изготовление контактов, пружин, лепестков и т.п.
Проволока БрБ2-3М-0,5 ГОСТ 15834-70	Проволока из бериллиевой бронзы, 3М – мягкая (закаленная), толщиной 0,5 мм	Изготовление контактов, пружин, лепестков и т.п.
<b>Литейные сплавы</b>		
Сплав АЛ2 ГОСТ 2685 - 75	Сплав алюминиевый литейный	Изготовление корпусов, кронштейнов, радиаторов и т.п. методом литья
Бронза Бр ОСЦ 5-5-5 ГОСТ 493 - 54	Бронза оловянная литейная	Изготовление корпусов и других деталей РЭС методом литья
<b>Неметаллические материалы</b>		
Текстолит А – 10,0 ГОСТ 2910 – 74	Текстолит электротехнический листовой, толщина 10 мм	Изготовление диэлектрических деталей методами штамповки и резания
СтеклотекстолитСТК-1,0 ГОСТ 12652-74	Стеклотекстолит электротехнический листовой, толщиной 1 мм	Изготовление диэлектрических деталей РЭС методами штамповки
Пластина Ф - 4 8х245х245 , высший сорт ТУ 6 - 05 - 810 -76	Пластина из фторопласта, размер листа: 8х245х245 мм	Изготовление диэлектрических деталей методами штамповки и резания
Лист фольгированный GFN 1,5 35 А 2 С PND 39-683-93	Лист диэлектрический фольгированный, двухсторонний, толщиной 1,5 мм с толщиной фольги 35 мкм	Изготовление двухсторонних печатных плат
Лист фольгированный FR-4 1,0 Cu 18/18 UV фирма Kingboard Laminates LTD	Лист диэлектрический толщиной 1,0 мм, ламинированный с двух сторон медной фольгой толщиной 18 мкм, с защитой от ультрафиолетового излучения	Изготовление двухсторонних печатных плат

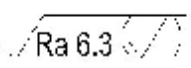
Продолжение приложения Н

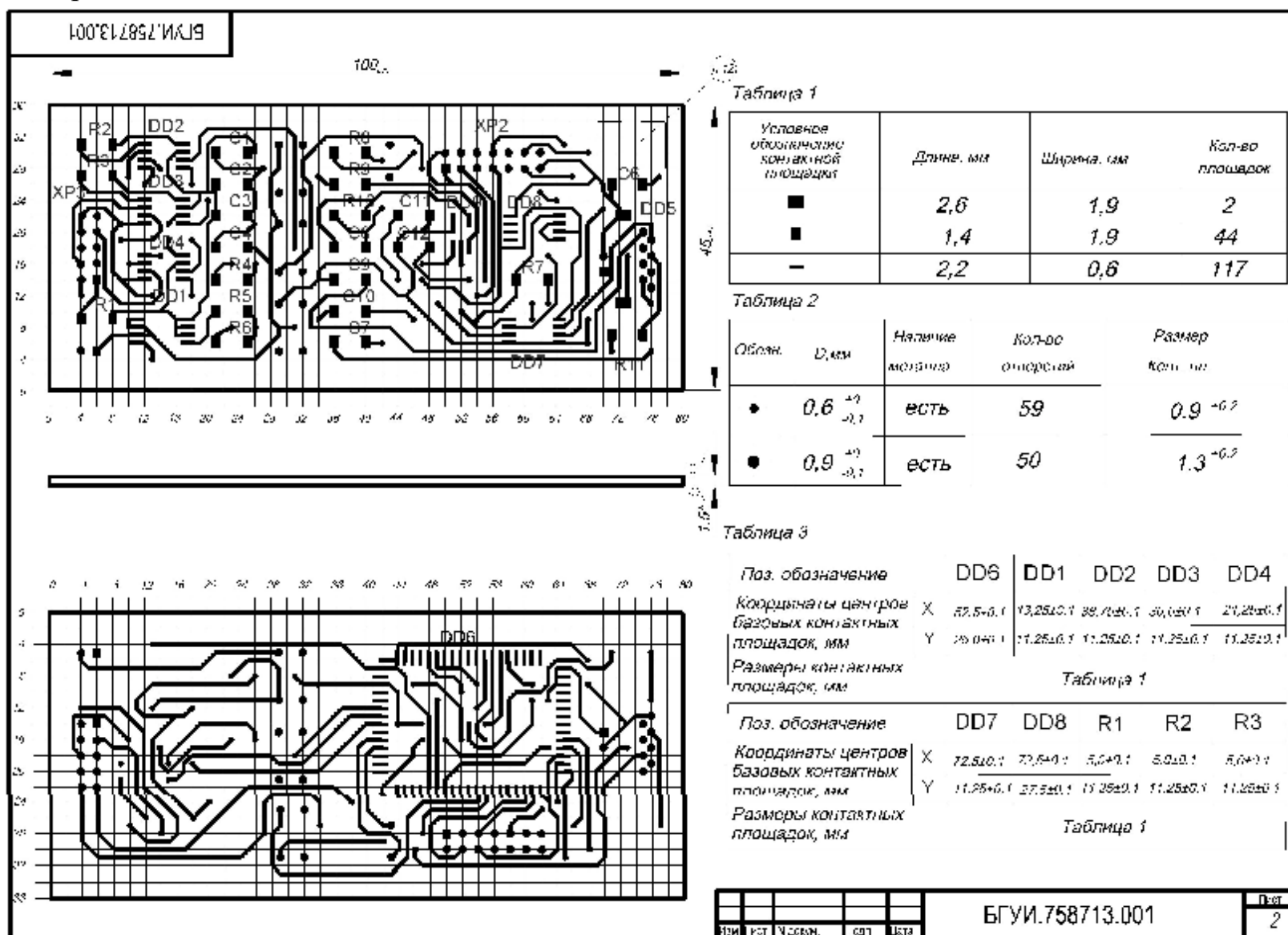
1	2	3
Лист фольгированный FR-4DS7405U-50/0-2,0 фирма «Doosan Corporation»	Лист диэлектрический фольгированный, односторонний, толщиной 2,0 мм с толщиной фольги 50 мкм	Изготовление односторонних печатных плат
Трубка 3.31 ТВ-40, 4, черная, высший сорт, ГОСТ 19034-82	Трубка из поливинилхлоридного пластика, внутренний диаметр 4 мм	Изготовление изолирующих деталей
ТОСП, I сорт, красное прозрачное ГОСТ 17622-72	Стекло органическое техническое листовое. Размер листа: не более 1150x1250 мм; толщина, мм: 3,0 ; 4,0 ; 5,0	Изготовление панелей, стекол и т.п.
Полистирол ударопрочный УПЛ-612Л-06 рец. 151, 1 с. ГОСТ 28250-89	Полистирол ударопрочный литьевой, цвет согласно рецептуре №151 (серый), 1 сорта	Изготовление диэлектрических деталей РЭС методом литья (крышки, основания, корпуса и т.п.)

**ПРИЛОЖЕНИЕ П**  
**Материалы, используемые для изделий с электромонтажом**

Материал	Нормативно-технический документ
Бумага кабельная марок К-080; К-120; КПМ-120	ГОСТ 23436-83
Бумага конденсаторная марки КОН	ГОСТ 1908-82
Жидкость гидрофобизирующая 136-41	ГОСТ 10834-76
Жидкость полиметилоксановая ПМС-1000	ГОСТ 13032-77
Картон электроизоляционный марки ЭВ	ГОСТ 2824-86
Картон прокладочный	ГОСТ 9347-74
Клей БФ-2 и БФ-4	ГОСТ 12172-74
Клей 88НП	ТУ 38-105.540-73
Клей ВК-9	ОСТ 92-0948
Компаунд «Виксинт ПК-68»	ТУ 38-103.508-81
Краски маркировочные специальные БМ, КМ, СМ, ЧМ, ЗМ, ЖМ	ТУ 29-02-859-78
Краска ФКС3-5, зеленая	ТУ 107-91 БИТС.066629.003ТУ
Лак МЛ-92	ГОСТ 15865-70
Лак НЦ-134	ТУ 6-10-1291-77
Лак НЦ-132	ГОСТ 6631-74
Лакоткань электроизоляционная марки ЛШМ	ГОСТ 2214-78
Ленты асбестовые электро- и теплоизоляционные	ГОСТ 14256-78
Лента липкая маркировочная	ТУ 6-05-1240-76
Лента поливинилхлоридная электроизоляционная ПВХ	ГОСТ 16214-86
Мастика У-9м	ОСТ 92-0948-74
Мастика plombировочная №2	ГОСТ 18680-73
Нитки швейные хлопчатобумажные	ГОСТ 6309-80
Паста припойная ПП 250	АУЭО.033.023 ТУ
Припой ПСр. 2,5	ГОСТ 19746-74
Припой ПОС-61	ГОСТ 21931-76
Припой ПОСК 50-18	ГОСТ 21931-76
Провода монтажные с изоляцией из спекаемой плёнки	ТУ 16-505.083-78
Провода монтажные теплостойкие с изоляцией из фторопласта	ТУ 16-505.185-71
Провода монтажные с плёночной или волокнистой изоляцией (МГШВ, МГШВЭ)	ТУ 16-505 – 437-82
Проволока медная ММ	ГОСТ 2112-79
Смазка ЦИАТИМ-201	ГОСТ 6297-74
Смазка ВНИИ НП-248	ТУ 38 101643-76
Стеклоткань электроизоляционная	ГОСТ 10156-78
Стеклотекстолит	ГОСТ 12652-74
Трубки из поливинилхлоридного пластика	ГОСТ 19034-82
Церезин синтетический М 100	ГОСТ 7658-74
Эмаль МЛ-12	ГОСТ 9754-76
Эмаль МЛ-165, МЛ-165ПМ, МС-160	ГОСТ 12034-77
Эмаль НЦ-25	ГОСТ 5406-85
Эмаль ЭП-51	ГОСТ 9640-85
Эмаль ЭП-572	ТУ 6-10-1539-76
Эмаль ПФ-19, ПФ-19М	ТУ-10-1294-78

ПРИЛОЖЕНИЕ Р  
**Пример оформления чертежа печатной платы**

БГУИ.758713.001								
<ol style="list-style-type: none"> <li>1.* Размер для справок.</li> <li>2. Плату изготовить <b>комбинированным</b> позитивным методом.</li> <li>3. Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79, группа жесткости 2.</li> <li>4. Класс точности 3 по ГОСТ 23751-86.</li> <li>5. Шаг координатной сетки 1,25 мм по ГОСТ10317-71. Линии координатной сетки нанесены через одну.</li> <li>6. Конфигурацию проводников выдерживать по чертежу с отклонением 0,05 мм</li> <li>7. Форма контактных площадок круглая, <math>b_{min}=0.1</math> мм, для первого вывода микросхем - прямоугольная. Для планарных - см. табл. 1.</li> <li>8. Параметры печатного монтажа приведены в таблицах 1, 2</li> <li>9. Координаты центров базовых контактных площадок для поверхностно-монтируемых элементов см. табл. 3 (лист 2).</li> <li>10. Покрытие контактных площадок и металлизированных отверстий ХИМ.М.М25.0-С(66)10-15 опл.</li> <li>11. На плату с двух сторон наносить маску FSR 8000-8G UNION SOLTEK GROUP</li> <li>12. Маркировать маской FSR 8000-10W UNION SOLTEK GROUP             <ol style="list-style-type: none"> <li>а) позиционные обозначения элементов. Шрифт 2,5-Пр3 СТБ 992-95</li> <li>б) заводской номер и дату изготовления. Шрифт 4-Пр3 СТБ 992-95</li> </ol> </li> <li>13. Остальные технические требования по СТБ 1014-95.</li> </ol>								
БГУИ.758713.001								
					<i>Плата печатная</i>	Лит 0	Масса 14,8 г	Мас.шт. 4:1
Изм	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата				
Разраб.		Литвиненко						
Пров.		Блангарин						
Т. контр		Бондарук						
Ч. кол пр		Халецкий						
Утв.		Осипов						
					Лист фольгированный GFN 1.5 18/18 А 2 С	Лист 1   Листов 2 БГУИР гр.211801		



## ПРИЛОЖЕНИЕ С

## Пример оформления сборочного чертежа печатного узла

