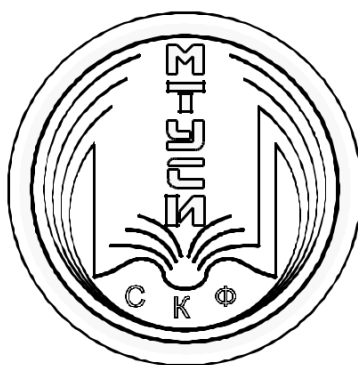


МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ  
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Северо-Кавказский филиал  
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра «**Информатика и вычислительная техника**»



**Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине**

**«Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ»**

**для бакалавров по направлению 09.03.01.**

**«Информатика и вычислительная техника»**

Ростов-на-Дону  
2021

Составитель: Швидченко С.А., доцент кафедры ИВТ

Рецензент: Доцент кафедры ИВТ Лобзенко П. В.

Пособие обсуждено и одобрено на заседании кафедры **Информатика и вычислительная техника**

Протокол № 1 от 30.08.21

Рассмотрены задачи, методы и особенности в соответствии с учебным планом направления подготовки бакалавров 09.03.01

«Информатика и вычислительная техника». Лабораторный практикум относится к дисциплинам профессионального цикла подготовки, является одной из завершающих в системе подготовки специалистов в области конструирования и технологии радиоэлектронных средств. Предназначен для дисциплины «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» и других родственных дисциплин.

## Содержание:

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Анализ технического задания на проектирование РЭС.....</b>	<b>6</b>
1.1. Анализ назначения изделия.....	6
1.2. Анализ конструкторских аналогов.....	7
1.3. Условия эксплуатации РЭС.....	9
1.4. Лабораторная работа № 1. ....	9
<b>2. Электромагнитная совместимость.....</b>	<b>12</b>
2.1. Конструкторский анализ электрической схемы РЭС.....	12
2.2. Анализ схемы электрической принципиальной.....	13
2.3. Анализ элементной базы.....	13
2.4. Электромагнитная совместимость цифровых узлов.....	14
2.5. Электромагнитная совместимость усилительных схем.....	23
2.6. Лабораторная работа № 2. ....	33
<b>3. Выбор способа охлаждения.....</b>	<b>38</b>
3.1. Методические указания по выбору системы охлаждения.....	38
3.2. Естественное воздушное охлаждение при нормальном атмосферном давлении.....	39
3.3. Естественное воздушное охлаждение при атмосферном давлении отличном от нормального.....	40
3.4. Лабораторная работа № 3. ....	41
<b>4. Расчет надежности.....</b>	<b>43</b>
4.1. Этап эскизного проектирования.....	43
4.2. Этап технического проектирования.....	44
4.2.1. Учет электрической нагрузки.....	44
4.2.2. Учет влияния тепла и механической нагрузки.....	45
4.2.3. Учет конструктивных особенностей ЭРЭ.....	47
4.2.4. Учет надежности функциональных узлов на микросхемах.....	49
4.3. Оценка характеристик восстанавливаемости РЭС.....	50
4.4. Лабораторная работа № 4. ....	54
<b>5. Основы эргономики РЭА.....</b>	<b>57</b>
5.1 Эргономическое проектирование изделий РЭА.....	57
5.2. Лабораторная работа № 5.2.1.....	63
5.3. Лабораторная работа № 5.2.2.....	67
<b>6. Художественное конструирование РЭС.....</b>	<b>78</b>
6.1. Композиционные построения и гармонизация частей и целого в конструкции.....	78
6.2. Лабораторная работа № 6.....	84
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>86</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>86</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>87</b>
Приложение 1. Список используемых сокращений	
Приложение 2. Некоторые справочные данные	

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина является одной из завершающих в системе подготовки специалистов в области конструирования и технологии радиоэлектронных средств ИВТ. Методы и средства проектирования РЭС используются также в других изучаемых дисциплинах направления 09.03.01 ИВТ, предусмотренных учебными планами.

В процессе выполнения лабораторного практикума студент должен продемонстрировать умение использовать теоретические знания, накопленные в результате изучения предшествующих дисциплин, для решения конкретной конструкторской задачи:

- глубоко изучить физические процессы, протекающие в РЭА, их влияние на электрические параметры;
- расширить знания по технологическим процессам, применяемым при изготовлении РЭА;
- уметь оценивать технологичность конструкции детали и изделия РЭА в целом;
- уметь анализировать результаты расчета и принимать соответствующие конструкторские решения с целью обеспечения параметров РЭА;
- выполнять требования, предъявляемые к оформлению конструкторской документации;
- применять автоматизированные системы проектирования конструкторской документации (САПР-конструктор);
- научиться пользоваться технической литературой, в том числе справочниками, стандартами и другими нормативно-техническими документами (НТД), применяемыми и на промышленных предприятиях.

В процессе подготовки инженерно-технических кадров наряду с традиционными формами и методами обучения необходимо использовать новые, способствующие активизации познавательной деятельности студентов, формированию самостоятельности их мышления и направленные на быструю адаптацию молодых специалистов в реальных производственных условиях, самостоятельное проектирование, исследование и оценка параметров и качества конструкций РЭС с учетом требований государственных (ГОСТ) и отраслевых (ОСТ) стандартов.

Основная цель пособия — привить студентам навыки выполнения конструкторских работ, оказать им помощь в решении технических задач по конструированию РЭА, научить их пользоваться стандартами и в первую очередь стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), нераз-

рывно связанной с Единой системой технологической документации (ЕСТД) и единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Так как стандарты постоянно развиваются и дополняются, то все изменения необходимо учитывать при проектировании конструкций РЭС.

Данное руководство может использоваться также при дипломном проектировании.

## **1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЭС**

Основными данными для конструирования любой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) являются техническое задание (ТЗ) и схема электрическая принципиальная (ЭЗ). Общие методические указания по конструированию РЭА, начиная с ранних стадий анализа, нацелены на реализацию системного подхода к конструированию. В настоящих указаниях раскрыта методика конструкторского анализа технического задания и схемы электрической принципиальной. В результате анализа ТЗ уточняются и конкретизируются технические требования к конструкции изделия.

### **1.1. Анализ назначения изделия**

При анализе назначения в первую очередь определяется тип аппаратуры: специальная или бытовая. Для бытовой аппаратуры наряду с выполняемыми функциями назначения (усилитель, тюнер и т. д.) должно учитываться, что радиоэлектронные средства (РЭС) бытового назначения являются частью интерьера и должны быть его гармоничной составляющей. Важным для этого типа аппаратуры является ее совместное использование с уже имеющейся у потребителя аппаратурой. Поэтому обязательно должен быть рассмотрен вариант использования разрабатываемого прибора в составе, например, некоторого видео-аудиокомплекса.

Аналогичный подход необходим и при проектировании контрольно-измерительной аппаратуры и аппаратуры автоматики, так как эти типы изделий обычно используются в составе измерительных комплексов.

Функциональное назначение изделия определяют и минимально допустимые массо-габаритные характеристики. Например, для микрокалькуляторов, электронных телефонных аппаратов и других изделий с клавиатурным управлением минимизация размеров кнопок и клавиш снижает удобство работы пользователя, и конструктор при анализе должен дать критерии достижения компромисса при разработке указанных изделий РЭС. Снижение массы не всегда приводит к удобству работы с электронным аппаратом. Если масса настольного телефона мала, то при снятии трубки и ее удалении воз-

можно и перемещение самого аппарата (например, модель НТ-8686 китайского производства).

Для устранения указанного эффекта английским разработчикам пришлось искусственно увеличивать массу телефонного аппарата (модель УТ-286) введением металлических пластин общей массой 150 г.

## **1.2. Анализ конструкторских аналогов**

В качестве конструкторских аналогов, в соответствии с ГОСТ 2.116 — 84, следует выбирать изделия, имеющие то же функциональное назначение, что и разрабатываемое. Как правило, конструкторские аналоги по параметрам должны соответствовать лучшим отечественным и зарубежным образцам.

Цель выполнения анализа конструктивных решений аналогов состоит в том, чтобы конструктор мог представить себе образ будущего изделия. Помимо этого, при выполнении такого анализа конструктор изучает наиболее удачные решения элементов и узлов, конструкции и технологию их изготовления с тем, чтобы использовать их в разрабатываемом изделии, обеспечивая тем самым преемственность конструкторской разработки. При изучении конструкций РЭА аналогичного назначения необходимо оценить внешнюю компоновку с точки зрения обеспечения удобства работы оператора и выполнения требований технической эстетики. Следует изучить способы обеспечения ремонтопригодности, влагозащиты, в том числе методы защиты конструктивных материалов от коррозии, обеспечения теплового режима; установить особенности внутренней компоновки, крепления конструктивно-функциональных узлов на несущей конструкции, способы выполнения электрического монтажа, конструктивные методы обеспечения электромагнитной совместимости, защиты от механических воздействий.

В ТЗ на конструирование в краткой форме со ссылками на стандарты и литературу указывают основные данные о назначении, конструктивно-технологических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Целью анализа является расширение информации об имеющихся данных на основе использования литературных источников, стандартов, а также уточнение и конкретизация технических ограничений на конструирование изделия РЭА.

Анализ назначения изделия в целом интересует конструктора с точки зрения ограничений электрического, механического и информационного сопряжения с другими объектами и человеком. Уточняются и расширяются ограничения, которые должны обеспечить заданное функционирование изделия. Конструктивно-технологические ограничения на конструирование изделия могут быть заданы в соответствии со стандартами (например, ГОСТ 20504 — 81 и СТСЭВ 3266 — 81), размерами аналогичной конструкции или специальными, индивидуальными ограничениями. Если в ТЗ на конструкцию изделия ограничения указаны в соответствии со стандартами или аналогичной конструкцией, то набор возможных габаритных размеров для изделия

может храниться в банке данных автоматизированной системы конструирования. Причем типоразмер модуля связан с определенными показателями качества, число которых можно ограничить и в самом простейшем случае свести к одному — главному или обобщенному. Окончательный выбор типоразмера модуля связан с решением оптимизационной задачи синтеза.

На стадии анализа ТЗ на основе уточненных данных о назначении конструкции изделия следует расширить сведения о механических, климатических и радиационных факторах внешней среды в соответствии с ГОСТ 21552 — 84, ГОСТ 15484 — 81, ГОСТ 18298 — 79, ГОСТ 14254 — 96.

Последующая стадия анализа предполагает условное разбиение изделия на подсистемы в соответствии с принятой конструктивной иерархией. Исходные данные на конструирование для каждого рассматриваемого уровня конструктивной иерархии РЭА определяются в соответствии с результатами разработки более высокого уровня. Причем, назначение, конструктивно-технологические ограничения и условия эксплуатации отдельных подсистем должны соответствовать требованиям ТЗ на конструкцию изделия в целом.

Используя модульный принцип, выполнить разбиение несложно. Однако правильность выполненного разбиения следует проверить на соответствие ТЗ. Следующий этап конструирования РЭА принято называть синтезом. Он выполняется методом агрегатирования подсистем (т. е. объединением) и оптимизацией конструктивных решений элементов конструкции.

Проверка конструктивного решения изделия начинается с согласования размеров подсистем. Размеры корпусов элементной базы известны из предшествующей стадии анализа. С учетом этих данных оценивают размеры платы, затем блока и изделия в целом. Для оценки размеров плат и блоков можно использовать рекомендации ОСТ 4Г0.010.009 1...5, которые дают обобщенную информацию о размерах, электрических и механических связях между элементами на плате и в блоке. Дальнейшее согласование требований и конструктивных решений элементов выполняется в соответствии с показателями качества, технологичности, микроминиатюризации, конструктивной надежности, теплового режима, механических воздействий и т. п.

Технологические показатели задаются в ТЗ. Например, по ГОСТ 20397 — 82 для технических средств малых ЭВМ коэффициент применяемости Кщ, должен быть не менее 40%. Причем конструируемые изделия в большинстве случаев должны соответствовать агрегатному принципу построения.

В требованиях на конструирование изделия РЭА указываются ограничения по устойчивости к внешним воздействующим факторам в соответствии с ГОСТ 15150 — 69, ГОСТ 17785 — 72, ГОСТ 16962.1 — 89, ГОСТ 21552 — 84. Требования к надежности на изделия конкретного вида указывают в соответствии с ГОСТ 20397 — 82.

Обращение к банкам данных с помощью терминальных средств позволяет широкому кругу разработчиков конструкций РЭА пользоваться справочными или другими источниками информации. Для автоматизации анализа

ТЗ и дальнейшего конструирования РЭА с применением ЭВМ следует упорядочить и формализовать данные о назначении, конструктивных технических ограничениях и условиях эксплуатации изделия. Как справочные данные об аналогичных и стандартных конструкциях, так и данные для анализа, представляемые в ЭВМ в виде банков данных, должны быть с так называемым открытым доступом (типа КАМА — ДИАЛОГ, КВАНТ и др.). Такая форма представления ТЗ и банков данных позволяет иметь гибкую систему автоматизированного конструирования в условиях быстро изменяющейся номенклатуры комплектующих элементов, новой элементной базы и т.п.

### **1.3. Условия эксплуатации РЭС**

Условия эксплуатации, определяются, в первую очередь, климатическими и механическими воздействиями.

Каждое климатическое исполнение с учетом категории исполнения (ГОСТ 15150) характеризуется конкретными воздействующими факторами: температурой, влажностью, давлением, влиянием дождя, пыли и т. д. Из механических параметров (ГОСТ 16019, ГОСТ 22261 и др.) обычно выделяют прочность и устойчивость к механическим ударам и вибрациям, а также линейные ускорения.

### **1.4. Лабораторная работа № 1.**

#### **1.1. Анализ ТЗ на проектирование блока РЭС (2ч)**

#### **1.2. Размещение ЭРЭ на печатной плате (4 ч.)**

#### **1.3. Проектирование печатного рисунка (4 ч.)**

#### **1.4. Разработка приборов и блоков РЭС(4ч)**

**Цель работы:** Лабораторная работа № 1(ЛР № 1) преследует две основные цели:

1. Закрепление теоретических знаний по дисциплину «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств» (ОКиТРЭС) путем экспериментального исследования их характеристик и параметров.

2. Подготовка материалов для выполнения в будущем конструкторской части дипломного проекта (ДП). Для этого целесообразно определиться с темой ДП и использовать для выполнения ЛР № 1 данные по конструкторской части ДП. С учетом этого все 4 части ЛР № 1 представляют единый блок и оформляется общий отчет по всем четырем частям ЛР № 1

### **Задачи лабораторной работы**



Конструкторский анализ исходных данных — начало творческой работы конструктора. На данном этапе конструктор должен представить себе первоначальный образ конструкции разрабатываемого изделия.

К задачам лабораторной работы относятся:

- > произвести анализ требований ТЗ;
- > выполнить анализ схем ЭЗ, уяснить принцип работы изделия;
- > произвести анализ элементной базы; > изучить конструкторские аналоги.

### **Задание для подготовки к работе**

- > Ознакомьтесь с целями, задачами и содержанием лабораторной работы.
- > Изучите теоретические сведения к работе.
- > Пройдите входное тестирование или опрос для допуска к работе.
- > Получите у преподавателя вариант электрической схемы принципиальной, вариант ТЗ и тип конструкции.

### **Задание для экспериментального исследования**

Исходные данные:

- > Эскиз схемы электрического узла (блока) РЭА;
- > конструирование радиоаппаратуры в виде узла на печатной плате;
- > конструирование радиоаппаратуры в виде блока с проводным монтажом;
- > конструирование различных типов электронных узлов (пьезоэлектрических, акустоэлектрических и т.д.);
- > конструирование различных типов радиоустройств (микросхемы, трансформаторы и т.д.).

Для всех типов аппаратуры обязательно должно быть определено место расположения изделия на объекте установки, моноблочное исполнение или в составе стоек, шкафов и т. д. Выводом из анализа этой части ТЗ должно быть формулирование требований:

- по габаритам, массе, компоновке изделия с учетом стилевых решений;
- к материалам и покрытиям, определяющим дизайн и совместимость с объектом установки;
- к конструкции элементов крепления на объекте установки.

### **Порядок выполнения задания**

В результате анализа требований ТЗ должно быть конкретно установлено следующее:

- > назначение изделия, анализ конструкторских аналогов;
- > место установки и условия эксплуатации;
- > способы сочленения разрабатываемого изделия с объектом установки;
- > требования к габаритам, массе, форме изделия;
- > требования защиты от климатических воздействий;
- > требования защиты от механических воздействий;
- > требования обеспечения электромагнитной и тепловой совместимости;
- > требования обеспечения ремонтпригодности;
- > требования по обеспечению технологичности конструкции;
- > требования обеспечения электрической прочности и техники безопасности;
- > требования технической эстетики и эргономики;
- > экономические требования;
- > остальные требования, учитывающие конструктивные особенности изделия.

### **Требования к оформлению отчета по лабораторной работе**

В отчете должны быть приведены:

1. Общие задачи выполнения лабораторной работы.
2. Анализ конструкторских аналогов
3. В отчете в краткой форме со ссылками на стандарты и литературу указывают основные данные о назначении, конструктивно-технологических ограничениях и условиях эксплуатации изделия

Целью анализа является расширение информации об имеющихся данных на основе использования литературных источников, стандартов, а также уточнение и конкретизация технических ограничений на конструирование изделия РЭА.

4. Представить комплект конструкторской документации, выполненный в полном соответствии с ЕСКД в составе:

- схема электрическая принципиальная ЭЗ;
- перечень элементов ПЭЗ;
- сборочный чертеж печатной платы;
- трассировка печатной платы.

### **Контрольные вопросы**

1. Определение конструкции.
2. Структурные уровни конструкции и понятие конструкторской иерархии.
3. Принципы функциональной и размерной унификации и агрегатирования.
4. Базовый метод конструирования.
5. Понятие параметрических и типоразмерных рядов.
6. Размерный модуль в конструкторской иерархии.
7. Примеры конструкционных систем (КАМАК, КС МЭК, КС микро-ЭВМ, УТР РЭА и др.).
8. Метод иерархического абстрагирования и структурной декомпозиции электрической схемы на конструктивно-технологические единицы (конструктивы).
9. Правила конструирования корпусов ИС и микросборок.
10. Правила конструирования ТЭЗ и субблоков.
11. Правила конструирования блоков и панелей.
12. Правила конструирования стоек и шкафов.

## **2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

### **2.1. Конструкторский анализ электрической схемы РЭС**

Прежде чем приступить к конструкторской разработке электро-монтажа, необходимо провести анализ электрической схемы, принципа работы, специфики элементной базы, требований к источникам питания и тепловой совместимости. Оцениваются следующие характеристики элементной базы: быстродействие, помехоустойчивость, габариты, требования к установке и формовке выводов, методы крепления, необходимость теплоотвода и т. д. Оцениваются токи и напряжения в схеме путем поверочного расчета или по картам напряжений, составленным схемотехниками. Анализируется чувствительность элементов к тем или иным помехам: тепловым шумам во входных цепях, помехам по цепям питания и заземления, перекрестным помехам. Выявляются элементы и связи, способные создавать помехи, а также элементы, наиболее чувствительные к помехам. Особое внимание следует обращать на однородность элементов по быстродействию (выявляются элементы с необоснованно завышенным быстродействием) и по температурному диапазону работы (уточняются элементы с заниженным температурным диапазоном). Определяются тепловыделяющие элементы и намечаются меры их теплоизоляции, а также определяется тип производства элементов (серийное, массовое), их стоимость и дефицитность. В результате анализа вырабатываются требования к компоновке отдельных узлов и РЭС в целом, намечаются те или иные кон-

структивные решения по реализации электрических связей (межконтакт-ная коммутация и контактирование). В том случае, если принятые меры не обеспечивают электромагнитной совместимости или других характеристик РЭС (габаритов, массы, стоимости, надежности и т. д.), разрабатываются другие варианты конструкции.

При разработке конструкции электрических соединений аналогового узла особое внимание уделяется технологичности конструкции: использованию несущей конструкции из латуни или другого металла с покрытием (лужение и др.) для облегчения контактирования с земляной шиной в ближайшей к элементу точке; использованию конструкций электрических соединений, поддающихся автоматизации и механизации (печатные платы и шлейфы, контакты для группового контактирования, стежковый монтаж, контактирование накруткой, наличие контактных площадок для автоматизированных контрольных устройств); обеспечению надежных соединений экранов с земляной шиной (в том числе ВЧ - соединителей с оплеткой коаксиальных кабелей); удобству подготовки компонентов к сборке и монтажу (зачистка изоляции, формовка выводов, лужение контактных площадок и т.д.). При изготовлении экранов следует использовать высокопроизводительные методы формообразования и сборки (штамповка, прессование, термическое напыление и т.д.), минимальное количество драгоценных металлов, дефицитных и токсичных материалов.

## **2.2. Анализ схемы электрической принципиальной**

Его целесообразно проводить на уровне функциональной схемы. При этом удастся выделить функциональные узлы и устройства, которым в последующем можно придать конструктивную обособленность. При анализе ЭЗ целесообразно установить рабочие частоты, определить элементы и узлы, чувствительные к паразитным наводкам, которые, в свою очередь, могут являться источниками помех, а также сделать выводы о целесообразности экранирования. Необходимо уяснить, какие органы управления и индикации должны быть вынесены на лицевую панель, какие из элементов и приборов являются наиболее тяжелыми и требуют специального крепления, какие элементы являются теплонагруженными. Следует также определить, какими элементами внешней электрической связи изделие соединено с другими устройствами, установить наличие высоковольтных цепей с тем, чтобы, с одной стороны, обеспечить электрическую прочность, а с другой — безопасность работы оператора. На основании выполненного анализа необходимо уяснить принцип работы конструируемого изделия.

## **2.3. Анализ элементной базы**

Цель анализа элементной базы состоит в том, чтобы установить, соответствует ли элементная база заданным характеристикам конструируемого изделия при предусмотренных ТЗ условиях эксплуатации и, в случае несоответствия, предложить конструктивные методы обеспечения нормального функционирования изделия. При таком анализе производится также оценка схемной надежности. Сопоставление данных, полученных на основе анализа условий эксплуатации, с характеристиками ЭРЭ позволяет конструктору сделать обоснованные выводы.

## 2.4. Электромагнитная совместимость цифровых узлов

Под внутренней электромагнитной совместимостью (ЭМС) понимается свойство РЭС и его частей (ячеек, блоков, шкафов, пультов) функционировать без ухудшения качественных показателей при заданной внутри РЭС или его частей электромагнитной обстановке. Обеспечение внутренней электромагнитной совместимости становится все более актуальной задачей ввиду непрерывного уменьшения энергии сигналов цифровых устройств РЭС и роста взаимного влияния элементов, из-за увеличения плотности компоновки и сложности устройств. На цифровые узлы могут влиять и внешние помехи, проникающие, например, по цепям питания. Для защиты от этих помех принимают те же меры, что и для защиты от внутренних помех. Для обеспечения внутренней ЭМС цифрового узла необходимо, чтобы фактическая помеха

была меньше допустимой. Зависимости амплитуды помех

от их

пом

пом

длительности  $t_{\text{ном}}$  для логических элементов ТТЛ серий К130 и К155 представлены на рис. 2.4.1, 2.4.2. Из графиков следует, что при уменьшении длительности помех их допустимая амплитуда увеличивается. В технических условиях на цифровые ИС обычно приводится статическая помехоустойчивость, соответствующая горизонтальной части кривых. Для различных логических элементов статическая помехоустойчивость различна: 0,4 В для ТТЛ серии К155; 0,125...0,15 В (относительно уровней — 0,9 и — 1,7 В) для ЭСЛ серии 500; 1 В для элементов КМДП серии К176.

Для удобства рассмотрения методов обеспечения внутренней ЭМС цифровых узлов РЭС все электрические соединения можно условно разделить на электрически длинные и электрически короткие. Электрически длинной называется линия связи, геометрическая длина которой соизмерима с длиной волны наиболее высокочастотной составляющей спектра дискретного сигнала.

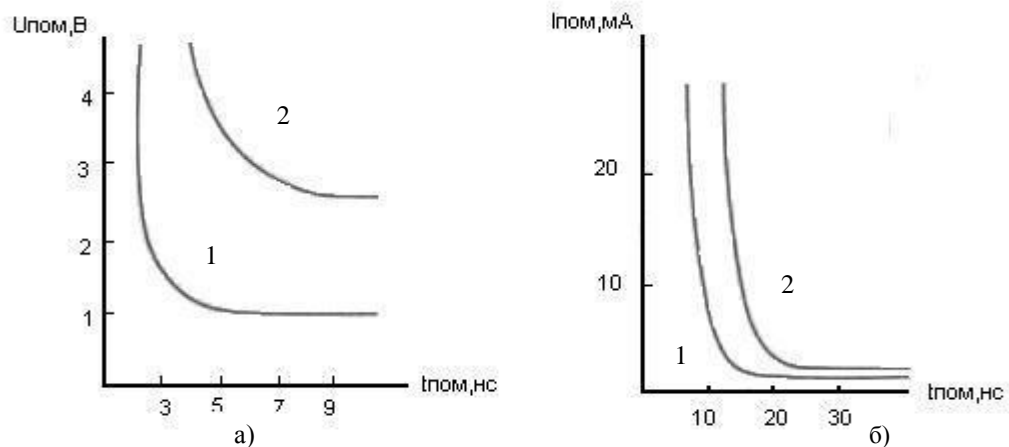


Рис. 2.4.1. Зависимость амплитуды помех по напряжению (а) и по току (б) от их длительности для логических элементов ТТЛ: 1 – для открывающих; 2 – для запирающих сигналов

Часто электрическую длину линии определяют из соотношения задержки сигнала в линии  $\tau_L$  и длительности фронта импульса  $\tau_\phi$ . Если  $t_L > 0,1 \tau_\phi$ , то линия считается электрически длинной, если

$$t_L < 0,1 \tau_\phi$$

– электрически корот-

кой. Время распространения сигналов на единицу длины для большинства электрических соединений РЭС составляет  $\tau_L = 4 \dots 7 \text{ нс/м}$ . Поэтому при  $\tau_\phi = 1 \text{ нс}$  линия является электрически длинной уже при геометрической длине более 14...25 мм.

Характеристическим параметром электрически длинной линии является волновое сопротивление (Ом)  $Z_L = \sqrt{L_L / C_L}$ , где  $L_L$  — индуктивность линии, Гн;  $C_L$  — емкость линии, Ф. При распространении сигнала в электрически длинной линии, имеющей неоднородность волнового сопротивления отдельных участков, от этой неоднородности происходит отражение падающего сигнала (приложенного к началу линии) напряжения  $U_{nad}$  или тока  $I_{nad}$ . Отраженный сигнал складывается с падающим и искажает его.

В качестве неоднородности линии связи могут выступать, например, внутреннее сопротивление генератора сигналов, подключенного к началу линии, или сопротивление нагрузки в конце линии, не равные волновому сопротивлению линии связи. Причиной неоднородности может быть также наличие в линии связи участков различного конструктивно-технологического исполнения (одиночный объемный проводник, печатный проводник, коаксиальный кабель, экранированный проводник, контакт соединителя и т. д.), технологический разброс волнового сопротивления линии связи (например, из-за разброса толщины или диэлектрической проницаемости изоляции коаксиального кабеля) или разветвление линий.

Отраженная энергия характеризуется коэффициентом отражения по напряжению ( $K_U$ ) или по току ( $K_I$ ):

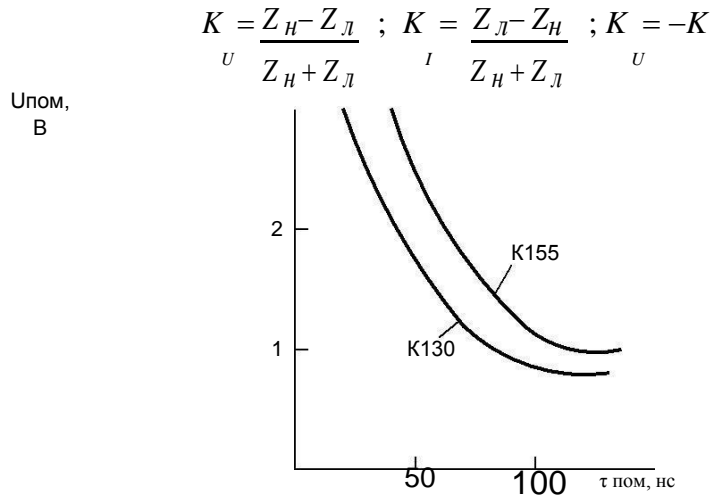


Рис. 2.4.2. Зависимость амплитуды допустимой помехи от длительности для RS-триггера на логических элементах серии K130 и K155

Амплитуда отраженного импульса может быть определена из соотношений  $U_{отр} = KU_{пад}$ ,  $I_{отр} = KI_{пад}$ .

Влияние неоднородности линий на характер искажения импульса напряжения иллюстрируется рис. 2.4.3. К началу согласованной с генератором сигналов электрически длинной линии подан скачок напряжения (рис. 2.4.3, а). Если линия на конце нагружена на сопротивление  $Z_H = Z_L$  (линия согласована на конце), то перепад напряжения, достигнув через время  $t_L$  конца линии, не изменит своей формы (рис. 2.4.3, б), так как коэффициент отражения по напряжению  $K=0$  и  $U_{отр}=0$ . Если линия не согласована с одного или с обоих концов, то искажения сигнала носят апериодический (рис. 2.4.3, в) или колебательный (рис. 2.4.3, г) характер.

Апериодический переходный процесс имеет место при условии  $K_1 K_2 > 0$  ( $K_1 = K_2 < 0$  или  $K_1 = K_2 > 0$ ), а колебательный — при условии  $K_1 K_2 < 0$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — коэффициенты отражения по напряжению от начала и конца линии. Длительность «ступенек» сигналов составляет  $2t_L$ . Если переходный процесс

носит апериодический характер, то быстродействие цифровых узлов уменьшается, так как увеличивается время нарастания амплитуды сигнала до номинального значения и должна быть уменьшена тактовая частота следования импульсов. Если переходный процесс колебательный, то это может вызвать ложное срабатывание логических элементов при значительной амплитуде колебаний сигнала около порогового значения. Кроме того, выбросы напряжения могут привести к пробоем  $p$ - $n$ -переходов полупроводниковых приборов или к насыщению транзисторов логических элементов ЭСЛ (это также снизит быстродействие).

Максимальная геометрическая длина несогласованной электрически длинной линии различна при различных длительностях фронта сигнала:

$l_{\max}=1500 \text{ мм}$  при  $\tau_{\phi} = 30 \text{ нс}$ ;  $l_{\max}=250 \text{ мм}$  при  $\tau_{\phi} = 5 \text{ нс}$ ;  $l_{\max}=15...50 \text{ мм}$  при  $\tau_{\phi}=1 \text{ нс}$ . Отражение импульсов в электрически коротких линиях не опасно из-за их малой (по сравнению с длительностью фронта) длительности. Это определяется ограниченной полосой пропускания линий связи, а также повышенной помехоустойчивостью схем при малых длительностях помех (рис. 2.4.1, 2.4.2).

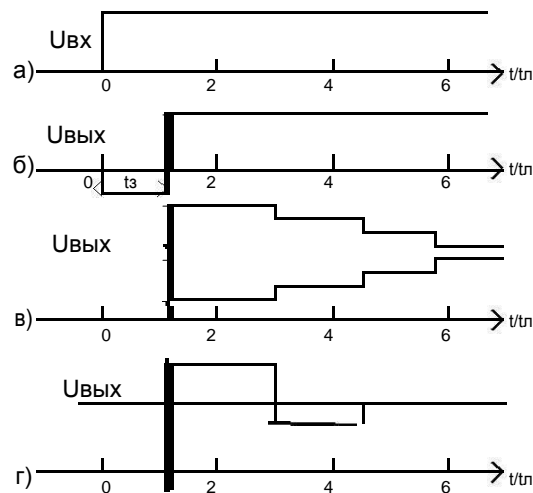


Рис. 2.4.3. Искажение импульсного сигнала (а) при передаче его по длинной линии в случае ее полного согласования (б) и рассогласования на обоих концах (в, г).

Помехи в электрически коротких линиях связи возникают из-за «паразитных» связей между различными электрическими соединениями и различными компонентами в пределах одного соединения (например, шины питания) и могут привести к сбою в работе цифровых схем. Несмотря на то, что в цифровых узлах используют схемы с небольшим коэффициентом усиления

10 ...10

РЛС), наличие большого числа параллельных связей, а также высокая плотность компоновки требуют принятия специальных мер для обеспечения ЭМС с учетом помех в электрически коротких линиях. Паразитные связи определяются конструкцией РЭС и параметрами используемых материалов (особенно диэлектрической проницаемостью). Все виды внутренних паразитных связей делят на емкостные, индуктивные и кондуктивные. Если сигнал (составляющая спектра), наводящий помеху, имеет гармонический характер, то независимо от характера паразитной связи (рис. 2.4.4) амплитуда помехи может быть определена по формуле

$$U_{\text{пом}} = U_{\text{и помн}} \cdot \frac{Z_{\text{пар}}}{Z + Z_{\text{пар}}} \quad (2.4.1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – напряжение помехи на сопротивлении нагрузки  
напряжение источника помех, приложенное к линии, наводящей помеху;  $Z_{\text{пар}}$



– сопротивление паразитной связи;  $K_{\text{пар}} = Z_H / (Z_H + Z_{\text{пар}})$  – коэффициент связи по напряжению.

Из рассмотрения рис. 2.4.4, а и формулы (2.4.1) следует, что в общем случае сопротивление паразитной связи и сопротивление нагрузки образуют делитель напряжения. В том случае, когда паразитная связь носит емкостный характер (рис. 2.4.4, б),  $Z_{\text{пар}} = 1/(\omega C_{\text{пар}})$ , где  $C_{\text{пар}}$  – паразитная емкость (емкость паразитной связи). Тогда где  $K_C = C_{\text{пар}} / (C_H + C_{\text{пар}})$  – коэффициент емкостной связи;  $C_H = C_L + C_{\text{вых}} + C_{\text{вх}}$  – емкость нагрузки, равная сумме емкостей собственно линии связи, выходной емкости передающей и входной емкости приемной схемы соответственно.

В том случае, когда паразитная связь носит индуктивный характер (рис. 2.4.4, в), напряжение помехи  $U_{\text{ном}} = M dI_1 / dt$ , где  $M$  – взаимная индуктивность, Гн;  $I_1$  – ток в первом контуре, А;  $t$  – время, с. Можно показать, что  $U_{\text{ном}} = U_1 M / L_1 = U_1 K_L$ , где  $K_L = M / L_1$  – коэффициент индуктивной связи;  $L_1$  – индуктивность первого контура. Можно определить  $K_L$ , не вычисляя  $M$  и  $L_1$ , а используя то обстоятельство, что при  $\varepsilon=1$ ,  $\mu=1$  (вакуум) коэффициент емкостной связи в вакууме  $K_{C0}$  равен коэффициенту индуктивной связи  $K_L$ .

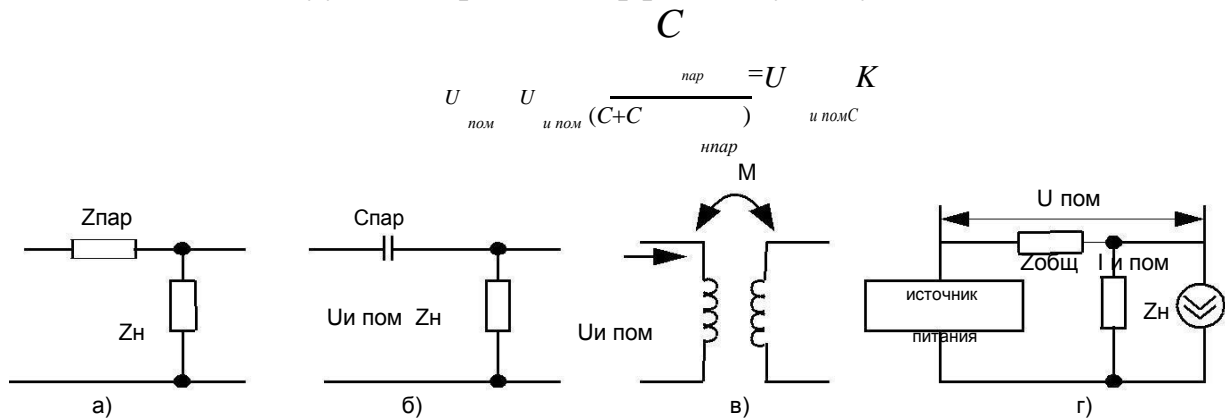


Рис. 2.4.4. Схемы паразитной связи: а — обобщенной; б — емкостной; в — индуктивной; г — кондуктивной.

При кондуктивной связи помехи выделяются на сопротивлении связи  $Z_{\text{общ}}$ , которое складывается из внутреннего сопротивления шин питания  $Z_{\text{шп}}$  и внутреннего сопротивления источника питания  $Z_{\text{ип}}$ . Так как  $Z_{\text{общ}} \leq Z_H$ , то коэффициент кондуктивной связи

$$K_Z = Z_{\text{общ}} / (Z_{\text{общ}} + Z_H) \approx Z_{\text{общ}} / Z_H.$$

Природа  $Z_{\text{общ}}$ , зависит от частотного спектра сигнала, наводящего помеху. Для постоянного тока и очень низких частот это в основном сопротивление дросселей фильтра, диодов выпрямителя, внутреннего сопротивления

химических источников питания; для звуковых частот — активное сопротивление шин питания, емкостное сопротивление конденсаторов фильтра; на высоких частотах — индуктивное сопротивление шин питания и конденсаторов фильтра.

Чтобы оценить ожидаемое искажение сигналов и наводки (помехи), необходимо рассчитать электрические параметры линий связи ( $L, C, C_{\text{пар}}, Z_L, M, Z_{\text{общ}}$ ) по известным конструктивным данным (геометрическим размерам, физическим параметрам материалов, конструктивному исполнению; числу и взаимному расположению взаимодействующих линий связи) по формулам, приведенным в табл. 2.4.1, а также по графикам рис. 2.4.5 — 2.4.6. Точность формул составляет: 5... 10% для одиночного объемного проводника, одиночного проводника над экраном, экранированного проводника, коаксиального кабеля; 15...20% для пары объемных проводников над экраном; 20...30% для печатных проводников.

Таблица 2.4.1

Тип электроустройства	Эскиз конструкции	Расчетные соотношения
Печатный проводник		$L = 0.2l(2.31g \frac{4l}{d_0} - 0.75),$ $d_0 = 0.67h_{np} + 0.567w$
Печатный проводник над экраном		$L = 0.46l \lg \frac{4h}{d_0},$ $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 l}{\lg \frac{4h_{nl}}{d_0}},$ $d_0 = 0.67 h_{np} + 0.567w$

Примечание. Размерность индуктивности  $L$  — мкГн; емкости  $C$  — пФ; волнового сопротивления  $Z$  — Ом; линейных размеров ( $l, d, D, h, A, d_0, h_{nl}, h_{np}, w$ ) — мм.

На рис. 2.4.5 представлена зависимость волнового сопротивления печатного проводника, расположенного в вакууме ( $\epsilon=1$ ), от соотношения его ширины  $w$  к расстоянию  $h_{nl}$  до экранирующей плоскости. Эти графики справедливы, если толщина проводника  $h_{np}$  мала по сравнению с шириной  $w$ . Для печатного проводника, расположенного в среде с  $\epsilon>1$ , волновое сопротивление линии  $Z_L = Z_0 / \epsilon \epsilon_0$ . Графики, представленные на рис. 2.4.6, позволяют

при условии, что  $h_{np} \leq w, \varepsilon \geq 1$ . Волновое сопротивление линии на плате без экрана составляет  $2Z$ .

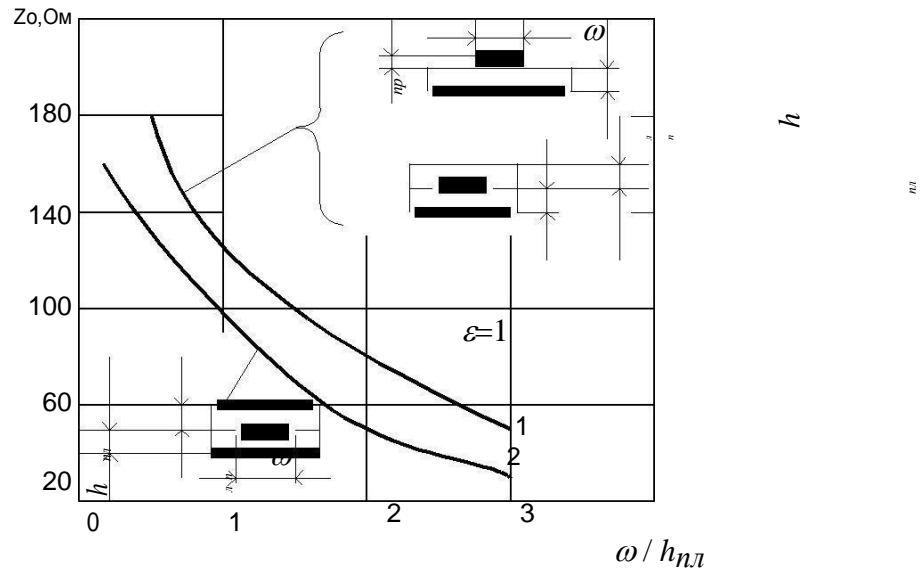


Рис. 2.4.5. Графики для расчета волнового сопротивления внешнего и внутреннего проводников печатной платы с экранирующей плоскостью (кривая 1) и волнового сопротивления внутреннего проводника, расположенного между двумя экранирующими плоскостями в вакууме (кривая 2)

Емкость между двумя проводниками, расположенными с одной или с двух сторон печатной платы, можно определить, используя графические зависимости рис. 2.4.7 и 2.4.8, по формуле  $C = C_0 / \varepsilon_{эф}$ , где  $C_0$  – удельная емкость линии, пФ/см, расположенной в среде с  $\varepsilon = 1$  (вакуум, сухой воздух);  $l$  – длина линии, см. При расчете допустимых параметров электрически коротких линий обычно исходят из эквивалентной схемы (рис. 2.4.9, б). Допустим, что собственной индуктивностью линии можно пренебречь; входное и выходное сопротивления и фронты линейны. Тогда для интервала времени  $0 < t < \tau_{\phi}$  напряжение помехи, отсчитываемое от статического уровня напряжения в линии [1, 5]

$$U_{\text{пом}}(t) = \pm \frac{R_{\text{вх}} \parallel R_{\text{вых}}}{\tau_{\phi}} \Delta U \pm M \frac{\Delta I}{R_{\text{вых}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (2.4.2.)$$

где  $\Delta I$  – перепад тока в линии, наводящий помеху;  $\tau = CR_{\text{вых}}R_{\text{вх}}: (R_{\text{вых}} + R_{\text{вх}})$  – постоянная времени;  $C = C_{\text{нар}} + C_{\text{вых}} + C_{\text{вх}} + C_{\text{л}}$  – суммарная емкость. Из соотношения (2.4.2) следует, что емкостная помеха преобладает, если  $R_{\text{вых}}C_{\text{нар}}\Delta U \geq M\Delta I$ . Таким образом, емкостная помеха существенна при больших перепадах напряжения, больших выходных сопротивлениях и сильной ем-

костной связи. Индуктивная помеха существенна при больших перепадах токов в линиях (малых  $R_{блх}$ ) и сильной индуктивной связи.

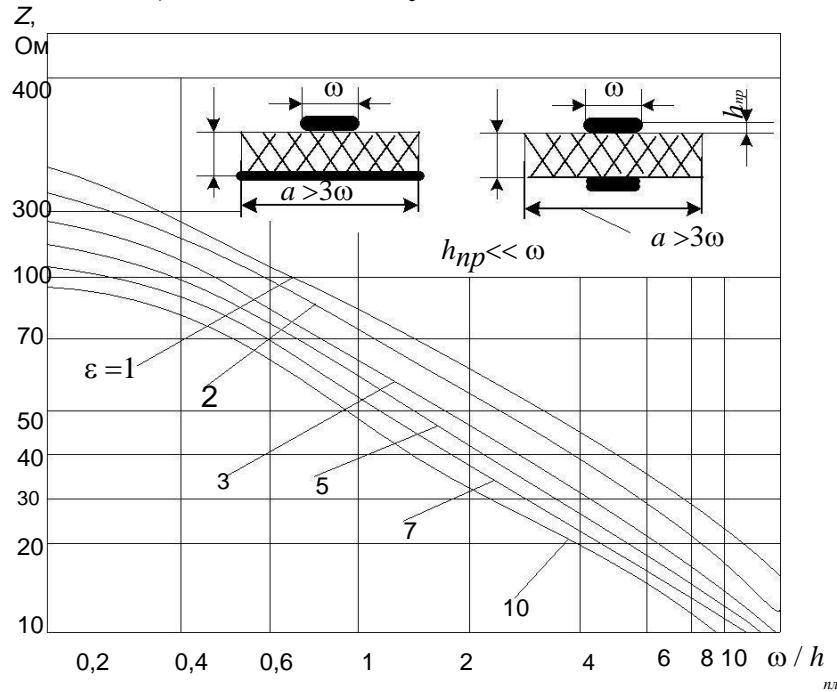


Рис. 2.4.6. Волновое сопротивление печатных полосковых линий

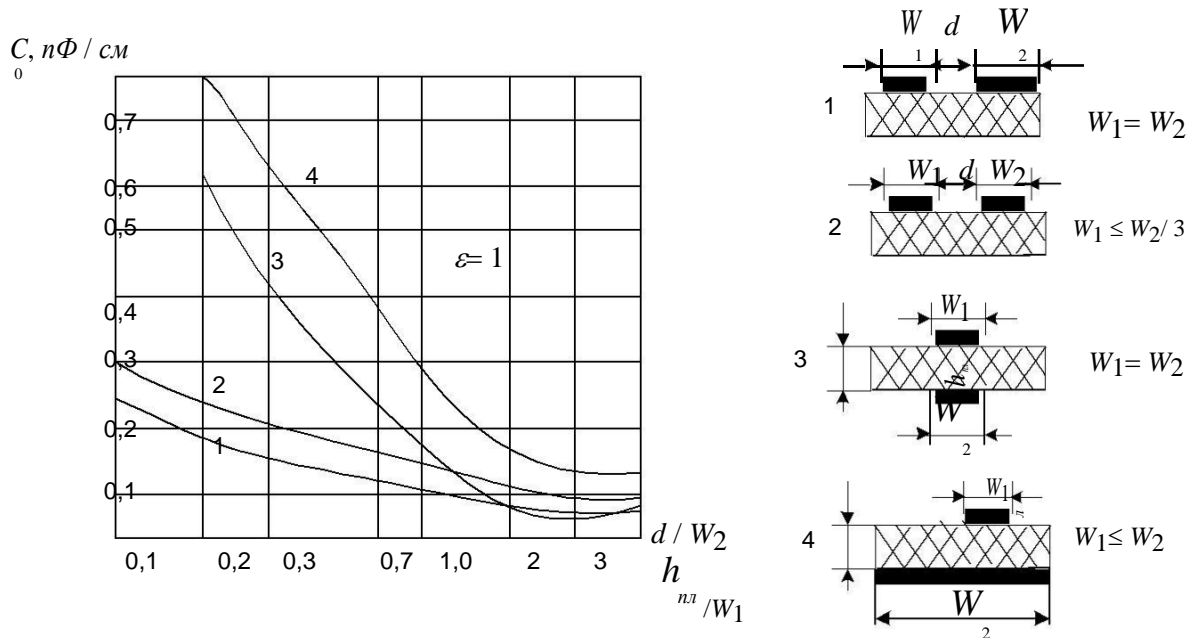


Рис. 2.4.7. Взаимная емкость печатных проводников в вакууме

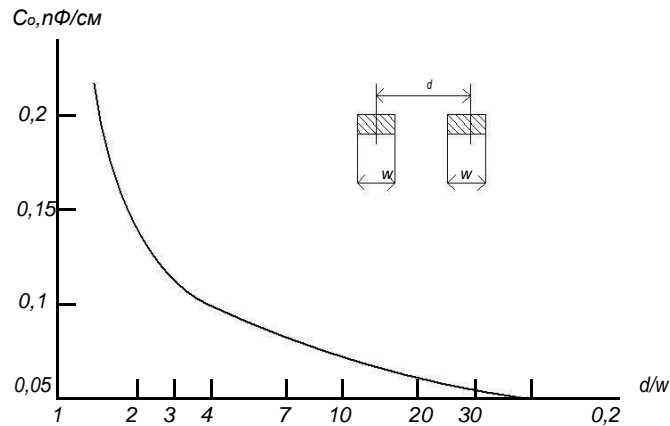


Рис. 2.4.8. Зависимость емкости между плоскими проводниками, расположенными в вакууме, от отношения расстояния между проводниками  $d$  к ширине проводников  $w$

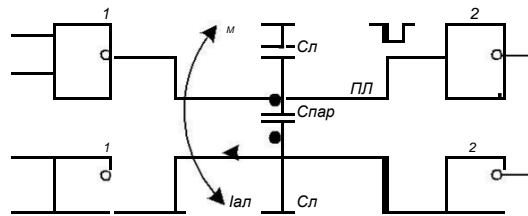


Рис. 2.4.9. Параллельные электрически короткие линии связи: АЛ — активная (наводящая помеху) линия; ПЛ — пассивная линия; 1 — передающие; 2 — приемные схемы;  $C_L$  — емкость линии относительно земляной шины

Логические элементы ТТЛ различаются быстродействием (потребляемой мощностью) и выходным сопротивлением. Маломощные элементы ( $P < 1$  мВт) с большим выходным сопротивлением  $R_{вых}$  наиболее критичны к емкостным запирающим помехам. Элементы высокого быстродействия ( $P > 10$  мВт) с малым выходным сопротивлением наиболее чувствительны к индуктивным отпирающим помехам. Для элементов ТТЛ среднего быстродействия ( $1 < P < 10$  мВт) необходимо учитывать емкостные запирающие и индуктивные отпирающие помехи. Элементы со структурой МДП характеризуются очень малыми входными токами и большими (кОм) выходными сопротивлениями. Поэтому для них наиболее опасными являются емкостные отпирающие и запирающие помехи. Элементы ЭСЛ, имеющие очень малое выходное сопротивление (около 10 Ом), нечувствительны к емкостным и индуктивным помехам в электрически коротких линиях.

При расчете линий связи микросборок на полиамидном, керамическом или алюминиевом (с анодированием) основании необходимо учитывать не только паразитные связи, но и постоянные времени линий связи. Это особенно важно для линий связи микропассивных элементов со структурой КМДП. Постоянная времени линии связи зависит от емкости схемных элементов, емкости линий связи относительно шины с нулевым потенциалом («земляной»),

паразитных емкостей относительно других линий связи, активного сопротивления линий связи. В ряде случаев минимум постоянной времени линий связи является критерием оптимального размещения интегральной схемы (ИС) в составе микросборки.

## 2.5. Электромагнитная совместимость усилительных схем

Наиболее универсальным (широко применяемым) и наиболее чувствительным к помехам аналоговым узлом является усилитель. При отсутствии полезного сигнала на входе усилителя на его выходе имеется некоторое (обычно небольшое) напряжение, обусловленное внутренними помехами (вызванными тепловыми шумами резисторов и активных элементов), а также внешними помехами (наводками) на входе с выхода усилителя или от других устройств. Наибольшее влияние оказывают внешние помехи, которые могут поступать на усилитель различными путями через емкостные, индуктивные и кондуктивные паразитные связи.

На рис. 2.5.1. показана схема трехкаскадного усилителя, на вход которого поступает емкостная помеха (рис. 2.5.1, а) с выхода последнего каскада. Для оценки допустимой величины паразитной емкости предположим, что обратные связи имеются только между входом и выходом однокаскадного усилителя (рис. 2.5.2), коэффициент усиления которого без обратной связи равен  $K$ , а коэффициент, показывающий, какая доля выходного сигнала передается на вход через обратную связь, равен  $\beta$ . Коэффициент усиления усилителя с обратной связью  $K_{oc} = K / (1 - \beta K)$ . Если  $1 - \beta K < 1$ , то обратная связь положительная, если  $1 - \beta K > 1$ , то отрицательная. Произведение  $\beta K$  зависит от частоты, и на одних частотах наблюдается положительная обратная связь, а на других – отрицательная. Петлями обратной связи может быть охвачен один или несколько каскадов.

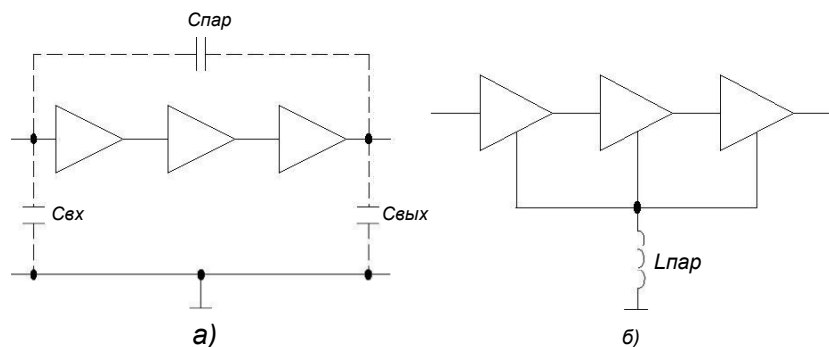


Рис. 2.5.1. Образование паразитной связи в многокаскадном усилителе: а – емкостная связь между входом и выходом; б – индуктивная связь по земляной шине

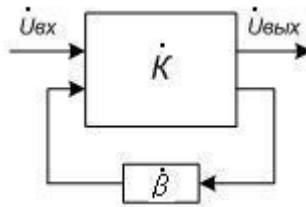


Рис. 2.5.2. Схема усилителя с обратной связью

При коэффициенте положительной обратной связи любой из петель, равном или превышающем единицу, усилитель может самовозбудиться. При емкостном сопротивлении обратной связи  $X_C$ , много большим сопротивления входной цепи усилителя  $Z_{вх}$ , в которую попадает напряжение помехи, условие самовозбуждения имеет вид:

$$K_y = Z_{вх} / (Z_{вх} + X_C) \approx K Z_{вх} / X_C = |K Z_{вх} \omega C_{нар}| \geq 1,$$

где  $K_y$  – коэффициент усиления по напряжению части усилителя, охваченной обратной связью через емкость  $C_{нар}$ .

Из этого условия следует, что достаточная для самовозбуждения усилителя емкость  $C_{нар} = 1 / (\omega Z_{вх} K_y)$ . При  $K_y = 10^4$ ;  $Z_{вх} = 10^3$  Ом;  $\omega = 10^7$  ( $f = 1,5$  МГц) и благоприятном для возбуждения фазовом сдвиге помехи  $C_{нар} = 0,01$  пФ. Чтобы характеристики устройства при наличии обратной связи заметно не изменились, величина  $C_{нар}$  между входом и выходом усилителя должна быть на порядок меньше, т.е. должна быть равна 0,001 пФ. Уменьшения емкостной паразитной связи можно добиться, разнося источники и приемники помех или используя во входной цепи диэлектрики с небольшой относительной диэлектрической проницаемостью, например фольгированный фторопласт (ФФ-4, ФАФ-4), полиимид. Это одновременно позволяет уменьшить потери во входных цепях усилителя и паразитную связь с другими устройствами.

Примером кондуктивной помехи является помеха  $E_{ном}$ , поступающая на вход усилителя с шины питания через делитель  $R_1 R_2$  (рис. 2.5.3). В конструкциях аналоговых РЭС и их узлов имеют место паразитные общие сопротивления  $Z_{общ}$ , входящие одновременно в цепь источников и приемников наводки. В качестве таких сопротивлений могут выступать активное и индуктивное сопротивления шин питания и шин с нулевым потенциалом, внутреннее сопротивление источника питания, а также отдельные участки шин, общие для нескольких цепей (переходные лепестки, участки проводов в цепи заземления, (рис. 2.5.4). Паразитная связь через внутреннее сопротивление источника питания и питающие шины является наиболее распространенной, так как обычно используется источник питания, общий для элементов и узлов, различающихся мощностью и помехоустойчивостью. Минимальные сигналы на

входе усилителя могут достигать долей микровольта. Использование источника питания, имеющего на порядок более низкий уровень помех, сложно и дорого.

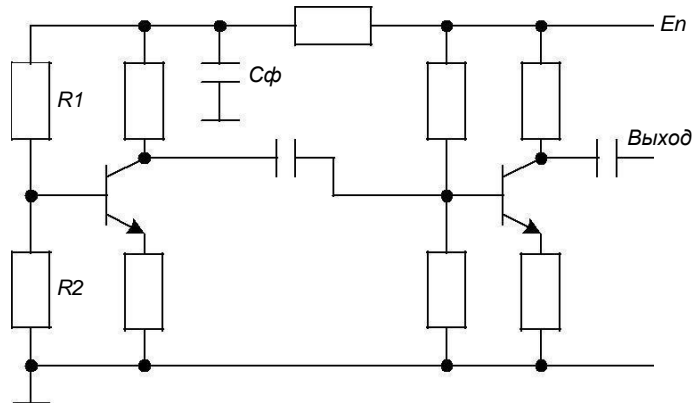


Рис. 2.5.3. Схема воздействия помех на вход усилителя от шины питания

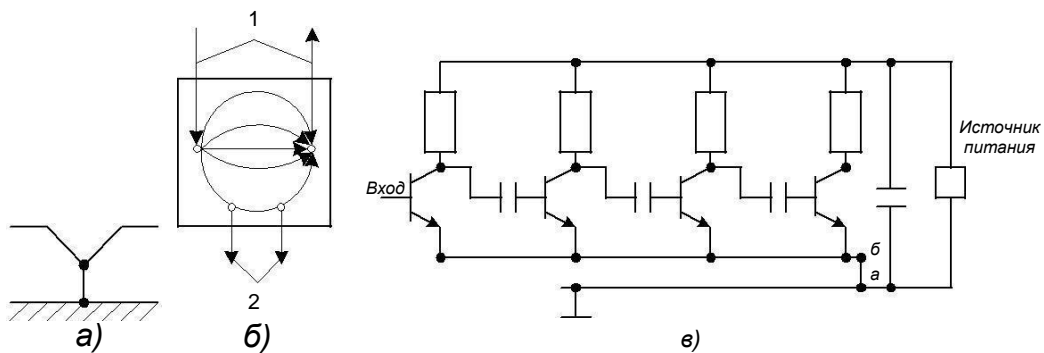


Рис. 2.5.4. Паразитные связи в общей шине через общий лепесток (а), через общий для цепей 1 и 2 участок корпуса (б), через общий участок а—б в цепи заземления многокаскадной схемы (в).

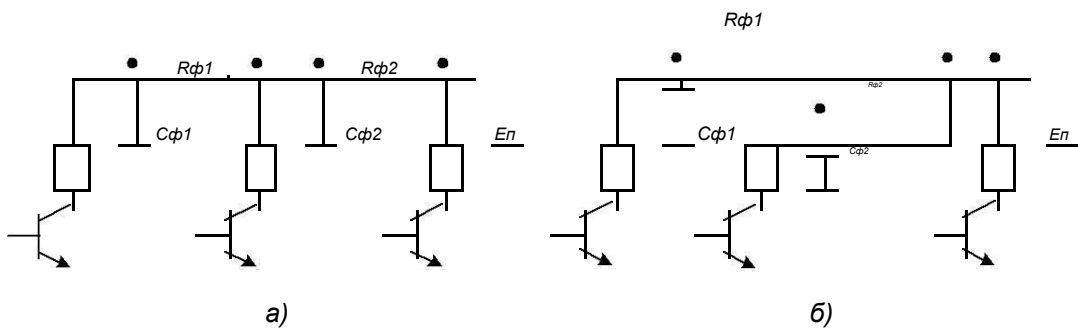


Рис. 2.5.5. Последовательное (а) и параллельное (б) включения фильтров в цепи питания.

Поэтому он рассчитывается исходя из пульсаций, допустимых для мощного каскада, а дополнительное сглаживание пульсаций, возникающих из-за падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника питания и шинах питания, осуществляют с помощью фильтров, подключенных к маломощным каскадам.

При использовании  $RC$ -фильтров (рис. 2.5.5) резистор выбирают из условия  $R_{\phi} = U_{\phi} / I_{\phi} = (0,05 \dots 0,5) E_n / I_0$ , где  $E_n$  – ЭДС источника питания;  $I_0$  –



постоянная составляющая тока. Коэффициент развязки фильтра  $K_{\phi p} = U_{ном} / U_{доп}$ , где  $U_{доп}$  — допустимая амплитуда помехи на выходе фильтра;  $U_{ном}$  — амплитуда помехи на входе фильтра. В этом случае емкость фильтра можно определить по формуле  $C_{\phi} = 1 / (K_{\phi p} - 1) \sqrt{\omega R_{\phi}}$ . На практике коэффициент развязки всегда меньше вычисленного, поскольку при расчете не учитываются паразитные параметры электро монтажа фильтров.

В качестве примера рассмотрим фильтр, включенный на выходе генератора помех с внутренним сопротивлением  $R_{\Sigma} = 100$  Ом (рис. 2.5.6, а) и параметрами  $C_1 = C_2 = C_3 = 0,05$  мкФ;  $L_1 = L_2 = 100$  мкГн. Частота сигнала помех на входе фильтра равна 6 МГц. Теоретический коэффициент развязки фильтра

$$K_{\phi p \Sigma} = \frac{R_{\Sigma}}{(\omega C_1)} \frac{\omega L_1}{(\omega C_2)} \frac{\omega L_2}{(\omega C_3)} = R_{\Sigma} \omega^5 C^3 L^2 = 100 (2\pi \cdot 6 \cdot 10^6)^5 (5 \cdot 10^{-8})^3 (10^{-4})^2 = 10^{10}$$

Допустим, при монтаже фильтра емкости  $C_1 - C_3$  подсоединены к шине с нулевым потенциалом через отрезок аб длиной 30 мм, индуктивное сопротивление которого на частоте 6 МГц составит примерно 1 Ом. Тогда напряжение помехи, ослабленное в 100 раз, поступит через конденсатор  $C_3$  прямо на выход фильтра. Таким образом, фактическое значение  $K_{\phi p \Sigma}$  меньше теоретического в  $10^8$  раз.

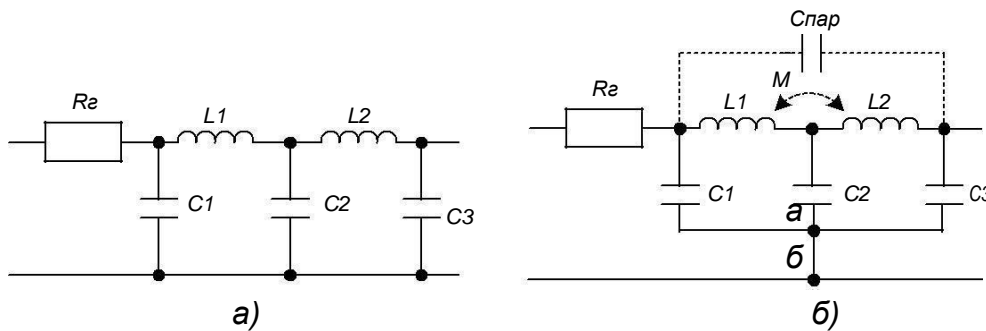


Рис. 2.5.6. Схема многозвенного фильтра (а) и его неверного монтажа (б): аб — общий участок в цепи заземления.

Для уменьшения влияния активного и индуктивного сопротивлений конденсаторов фильтрующие элементы, как правило, выполняют из параллельно включенных электролитического и «безындукционного» керамического конденсаторов. Для уменьшения индуктивности соединительных проводников фильтрующие конденсаторы располагают как можно ближе к защищаемому каскаду, а заземление осуществляется в ближайшей точке.

Связь через корпус, который часто выполняет функцию шины с нулевым потенциалом, проявляется тем сильнее, чем выше рабочая частота. С повышением частоты возрастают токи в корпусе, протекающие через емкости монтажа и деталей, увеличиваются активное и реактивное сопротивления.

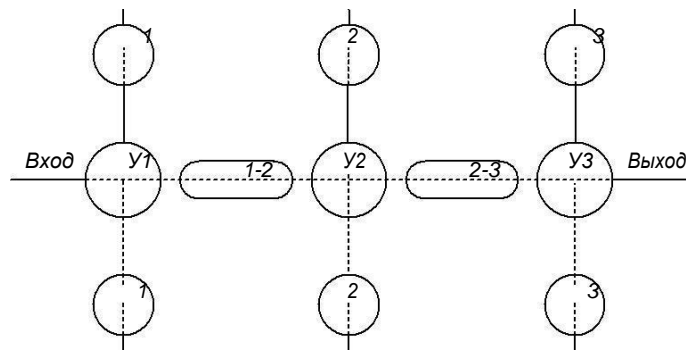


Рис. 2.5.7. Схема размещения элементов в широкополосном усилителе:  $U_1-U_3$  – усилительные приборы каскадов; 1 – 3 – элементы соответствующих каскадов; 1-2, 2-3 – элементы межкаскадной связи

На частотах от килогерц до единиц мегагерц разности потенциалов между различными точками корпуса настолько малы, что его поверхность можно считать эквипотенциальной и, следовательно, не создающей паразитной связи.

В широкополосных усилителях высокой и промежуточной частоты, работающих на частотах в десятки мегагерц, протекающие в поверхностном слое корпуса токи могут быть причиной значительного ухудшения устойчивости усилителя.

Для устранения обратных связей по корпусу усилителя необходимо все элементы, провода и точки присоединения к нему, относящиеся к выходу и входу двух соседних активных приборов, размещать только в промежутке между ними, по возможности ближе к продольной осевой линии (рис. 2.5.7). Элементы связи и точки присоединения к корпусу, относящиеся к цепям одного усилительного прибора, следует размещать как можно ближе к его поперечной оси. Между усилительными приборами, даже на довольно большом расстоянии от продольной оси, недопустимо размещать детали, связи и точки присоединения к корпусу, относящиеся к другим каскадам данного усилителя. Все эти условия выполняются наилучшим образом, если каскады располагаются один за другим на одной линии. Такая конструкция называется линейкой.

При автоматическом размещении элементов на плате аналогового узла запрещается улучшать размещение элементов путем перестановки их местами, допускаемой для элементов цифровых узлов. Для уменьшения переходного сопротивления контакта заземления и повышения его стабильности целесообразно выполнять его в виде монолитного (паяного или сварного), а не прижимного или разъёмного соединения. Эффективным путем уменьшения длины общих участков является использование отдельной шины с нулевым потенциалом для каждой группы цепей: малосигнальных, с сигналами средней и большой мощности. Так, в радиотехническом устройстве шины с нуле-

вым потенциалом (земляные шины) должны выполняться отдельно для входных цепей приемника, исполнительных цепей автоматики и выходных каскадов передатчиков (рис. 2.5.8).

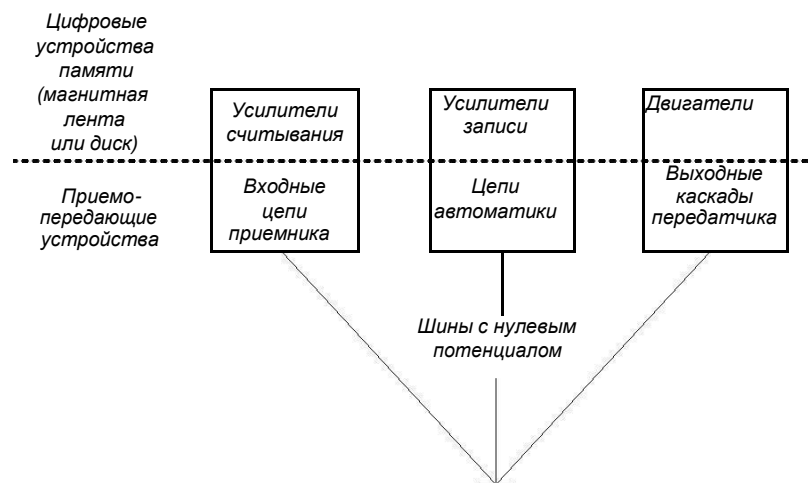


Рис. 2.5.8. Схема выполнения индивидуальных шин с нулевым потенциалом (земляных шин) для каждой группы устройств (цифровых, аналоговых)

Кондуктивная помеха может возникнуть, если, например, земляная шина выполнена (рис. 2.5.9) в виде замкнутого контура. В этом случае от постороннего источника за счет индуктивной связи в ней может быть наведена ЭДС (В)  $E = 4,44fNF \cdot 10^{-4}$ , где  $f$  — частота, Гц;  $N$  — средняя напряженность магнитного поля, А/м;  $F$  — площадь «петли» контура,  $\text{см}^2$ . Даже сравнительно небольшая ЭДС на малом сопротивлении шины может создать в контуре вполне ощутимый ток, который может привести к падению напряжения (кондуктивной помехе) на участке аб (рис. 2.5.9), равному примерно  $E/4$  (для данной конструкции). Для исключения подобной помехи необходимо разомкнуть контур. Индуктивную связь можно также ослабить, уменьшая площадь взаимосвязанных контуров в результате использования скрученных или бифилярных пар проводников (в том числе в экране), расположения объемных и печатных проводников вблизи плоскости с нулевым потенциалом. Так, замена одиночного проводника диаметром 0,5 мм и длиной 500 мм, отстоящего от плоскости с нулевым потенциалом на 100...200 мм, скруткой или бифиляром позволяет уменьшить индуктивность контура (а, следовательно, и помехи) с 800...900 до 180...320 нГн, т. е. в 3...4 раза. Обычно скрученные пары и бифиляры используют до частоты 100 кГц (на частоте 10 МГц велики потери); коаксиальные кабели — до частоты 100 МГц (на частоте 1 ГГц велики потери); полые волноводы — на более высоких частотах.

Если на оба входа дифференциального усилителя поступают одинаковые по полярности и амплитуде помехи (синфазные), то они подавляются усилителем. Если на оба входа дифференциального усилителя (рис. 2.5.10) поступают помехи одинаковые по амплитуде, но

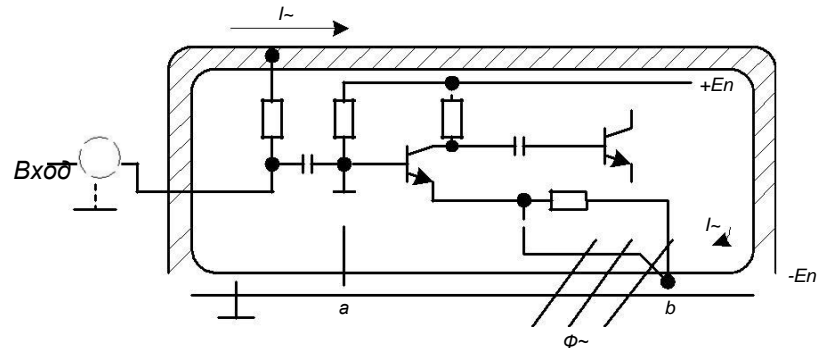


Рис. 2.5.9. Земляная печатная шина в виде замкнутого контура:  $\Phi$  — магнитный поток от поля рассеивания силового трансформатора

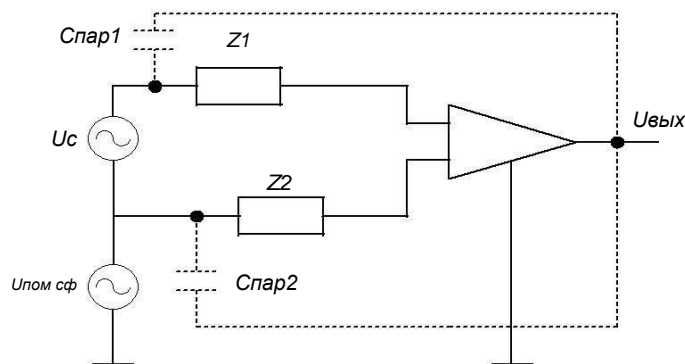


Рис. 2.5.10. Схема воздействия сигнала  $U_c$  и синфазной помехи  $U_{ном\ сф}$  на усилитель с двумя входами

противоположные по полярности или одинаковые по полярности, но разные по амплитуде (дифференциальные помехи), то они усиливаются. Дифференциальные помехи могут возникнуть из-за различной паразитной связи входов усилителя с источником помех ( $C_{пар1}$  и  $C_{пар2}$  на рис. 2.5.10).

Для аналоговых узлов шире, чем для цифровых, используют методы, позволяющие осуществить взаимную компенсацию помех одинаковой амплитуды и противоположной полярности: скрученные пары, дифференциальные усилители, режекторные фильтры (рис. 2.5.11).

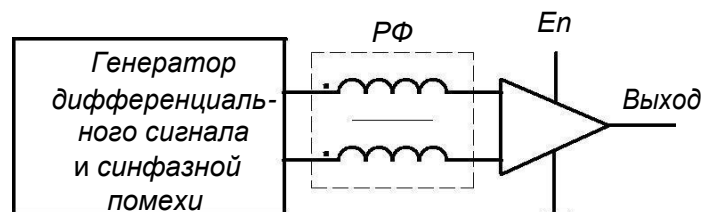


Рис. 2.5.11. Схема включения режекторного фильтра (РФ) на входе усилителя.

Использование режекторного фильтра основано на том, что он имеет малое сопротивление для тока дифференциального сигнала (имеющего разную полярность) на входе фильтра и большое сопротивление для тока синфазной помехи (в результате суммирования магнитных потоков обмоток). В качестве эффективных элементов гальванической развязки можно использовать оптроны.

В процессе работы электронные устройства подвергаются действию электромагнитных помех. В цепях с аналоговыми сигналами помехи искажают полезный сигнал, и приходится говорить о допустимом уровне искажений. Для цифровых и импульсных схем допустимый уровень помехи определяется порогом срабатывания элемента, на вход которого она поступает, помеха не должна опрокидывать триггер, запускать ждущий мультивибратор и т.д. во всех случаях приходится оценивать отношение сигнал/помеха.

Источники внешних помех для электронной аппаратуры могут быть весьма разнообразны – радиотехнические связные и локационные комплексы, рентгеновские установки, мощные вещательные станции, силовое электрооборудование, сетевые провода, трансформаторы и т.п. электронная аппаратура подвергается действию не только техногенных, но и естественных электромагнитных помех. Естественные помехи обусловлены природными физическими процессами в виде электромагнитных излучений, электростатических помех вследствие электризации элементов конструкций, мощных электромагнитных импульсов. Электромагнитный импульс от близкого разряда молнии способен не только создать мощную помеху в широкой полосе частот, но и разрушить чувствительные цепи электронной аппаратуры.

Среди помех техногенного происхождения обычно выделяют две группы электромагнитных помех: первая – помехи, излучаемые радиопередающими устройствами в рабочей полосе частот и вне этой полосы; вторая – промышленные помехи, сопутствующие работе электротехнических и электронных устройств: электродвигателей, линий электропередач, контактной сети, электросварочных аппаратов, системы зажигания в двигателях внутреннего сгорания, средств вычислительной техники и т.п. промышленные помехи, как правило, имеют импульсный характер и могут проявляться в широком диапазоне частот – от десятков герц до единиц гигагерц.

Наиболее уязвимыми частями РЭА для электромагнитных помех являются проводные линии ввиду их протяженности. Помехи могут улавливаться и непосредственно электрорадиоэлементами, входящими в состав устройства.

Естественным приемом борьбы с магнитными помехами является экранирование проводов линий связи. Экранирование заключается в локализации электромагнитной энергии в определенной части пространства. Поглощая и отражая поток электромагнитной энергии, экран отводит его от защищаемой области. Эффективность экранирования определяется как отношение магнитных (или электрических) составляющих поля в защищаемой области и в отсутствии экрана к соответствующим величинам при наличии экрана.

В табл. 2.5.1 приведены различные схемы экранирования, свивки проводов и соответствующие им уровни подавления помех.

Таблица 2.5.1

№ схемы	Схема соединения экрана и сигнальных проводов ( $R_T < 1\text{кОм}$ , $R_H < 1\text{МОм}$ )	Подавление помехи, дБ
1		0
2		0
3		27 (6-27)
4		13
5		13
6		28 (6-28)
7		80 (49-80)
8		55 (12-79)
9		70 (65-70)
10		77 (71-77)
11		83

Приведенные данные относятся к ультразвуковым частотам (примерно от 30 до 100 кГц). Подавление указано в децибелах (взято отношение помехи в незащищенном проводе к уровню помех в данной схеме). Элементы  $e_T$  и  $R_T$  на схемах относятся к источнику сигнала,  $R_H$  – сопротивление нагрузки, подключенной к выходному концу линии.

В схемах 1-6 табл. 2.5.1 цепи заземлены с двух сторон. Возвратные токи источников сигнала проходят через шину земли полностью или частично, поэтому площадь контура, пересекаемого магнитным полем, велика. В схемах 7-11 таблицы проводник возвратного тока источника сигнала расположен близко к сигнальному проводу, поэтому подавление магнитных наводок здесь принципиально выше. В схемах 1-2 таблицы магнитного экранирования нет, так как контур, пересекаемый магнитным потоком, не изменился по сравнению с простым проводником. Заземление экрана с одной стороны обеспечивает экранирование только электрического поля. Заземление обоих концов экрана (схема 3) дает сравнительно малый эффект, поскольку значительная часть возвратного тока проходит по шине земли. Кроме того, экран образует с шиной земли контур, в котором в свою очередь появляется магнитная наводка. Витая пара, заземленная с обоих концов (схема 4) обеспечивает некоторое подавление магнитной наводки, зависящее от распределения тока между возвратным проводом пары и шиной земли. Добавление экрана дает эффект только при заземлении экрана с обоих концов (схемы 5 и 6).

Среди схем с незаземленным источником сигнала наилучшей является схема 7, в которой площадь контура минимальна благодаря соосности экрана и центрального сигнального провода. Несколько хуже подавление в витой паре (схема 8) из-за влияния электрических полей и неправильной геометрии, что видно из сравнения со схемой 9. Схема 11 уступает другим, так как в ней магнитные наводки в контуре экран-земля могут проникать в сигнальную цепь. Для улучшения экранирования на низких частотах сопротивление экранирующей оплетки должно быть как можно меньше, при этом наилучшей схемой экранирования является схема 10, в которой сопротивление экрана играет меньшую роль. Экраны во всех случаях следует изолировать, чтобы не допустить их случайного замыкания. Дополнительное заземление или частичное замыкание оболочки может ухудшить экранирующий эффект, так как при этом часть обратного тока будет протекать минуя экран. Для защиты линий с слабыми сигналами в высокочастотном магнитном поле используются кабели парной скрутки с двойной экранировкой. Внешний экран заземляется у концов кабеля (при длине кабеля не более 0,2 длины волны), а внутренний у источника сигнала.

Приведённые схемы экранирования позволяют существенно снизить не только магнитную, но и электрическую «наводку». Однако здесь требуется правильно выбирать место подключения экрана: при присоединении экрана к точке схемы, в которой не обеспечивается постоянный нулевой потенциал,

помеха может попадать в сигнальные цепи через большую емкость сигнальный провод – экран интенсивнее, чем в случае отсутствия экрана.

Частотные возможности той или иной схемы экранирования зависят от конструктивных параметров линии передачи и влияния на нее источника сигнала и нагрузки. Экранированные кабели парной скрутки обеспечивают хорошую защиту от электромагнитных помех вплоть до частоты 100 кГц и удовлетворительно функционируют до 10 МГц. Сигналы прямого и обратного тока распространяются по внутренним проводникам, а токи помех текут только в экране. Предельная рабочая частота витой пары проводников определяется равномерностью и величиной шага скрутки. С ростом частоты сигнала ухудшается помехозащищенность, и увеличиваются отражения от неоднородностей линии. Коаксиальные кабели обеспечивают удовлетворительную помехозащищенность вплоть до 100 МГц. На частотах выше 1 МГц благодаря скин-эффекту коаксиальный кабель начинает действовать как триаксиальный: обратные токи сигнала текут по внутренней стороне экрана, а помех по внешней. На более низких частотах для защиты слабых сигналов применяются специальные триаксиальные кабели.

## **2.6. Лабораторная работа № 2.**

### **2.1. Исследование электрических линий связи на электромагнитную совместимость и экранирование узлов РЭС.**

#### **2.2. Анализ качества разработки печатного монтажа (2 ч).**

**Цель работы:** исследование помехозащищенности проводных линий связи, используемых в радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуре.

#### **Подготовка к работе**

1. Изучите теорию и практические методы, используемые для обеспечения электромагнитной совместимости РЭС. Обратите особое внимание на следующие вопросы:

а) основные характеристики электрических проводных линий связи (омическое сопротивление проводников, проводимость изоляции, погонная емкость, погонная индуктивность);

б) конструктивные варианты электрических линий связи, используемых в РЭС и ЭВС, их достоинства и недостатки;

в) помехозащищенность различных конструктивных вариантов проводных электрических линий связи;

г) способы экранирования линий связи и узлов РЭА;

д) правила выполнения соединений жгутами проводов и кабелями.

2. Выполните расчетное задание по указанному преподавателем варианту.



### Используемые приборы и оборудование

1. Лабораторный стенд.
2. Исследуемые образцы проводных электрических линий.
3. Измерительные приборы – осциллограф С1-118, милливольтметр ВЗ-48А или аналогичные.

В табл. 2.5.1 приведены различные схемы экранирования, свивки проводов и соответствующие им уровни подавления помех.

Приведенные данные относятся к ультразвуковым частотам (примерно от 30 до 100 кГц). Подавление указано в децибелах (взято отношение помехи в незащищенном проводе к уровню помех в данной схеме). Элементы  $e_T$  и  $R_T$  на схемах относятся к источнику сигнала,  $R_H$  – сопротивление нагрузки, подключенной к выходному концу линии.

В схемах 1-6 табл. 2.5.1 цепи заземлены с двух сторон. Возвратные токи источников сигнала проходят через шину земли полностью или частично, поэтому площадь контура, пересекаемого магнитным полем, велика. В схемах 7-11 таблицы проводник возвратного тока источника сигнала расположен близко к сигнальному проводу, поэтому подавление магнитных наводок здесь принципиально выше. В схемах 1-2 таблицы магнитного экранирования нет, так как контур, пересекаемый магнитным потоком, не изменился по сравнению с простым проводником. Заземление экрана с одной стороны обеспечивает экранирование только электрического поля. Заземление обоих концов экрана (схема 3) дает сравнительно малый эффект, поскольку значительная часть возвратного тока проходит по шине земли. Кроме того, экран образует с шиной земли контур, в котором в свою очередь появляется магнитная наводка. Витая пара, заземленная с обоих концов (схема 4) обеспечивает некоторое подавление магнитной наводки, зависящее от распределения тока между возвратным проводом пары и шиной земли. Добавление экрана дает эффект только при заземлении экрана с обоих концов (схемы 5 и 6).

Среди схем с незаземленным источником сигнала наилучшей является схема 7, в которой площадь контура минимальна благодаря соосности экрана и центрального сигнального провода. Несколько хуже подавление в витой паре (схема 8) из-за влияния электрических полей и неправильной геометрии, что видно из сравнения со схемой 9. Схема 11 уступает другим, так как в ней магнитные наводки в контуре экран-земля могут проникать в сигнальную цепь. Для улучшения экранирования на низких частотах сопротивление экранирующей оплетки должно быть как можно меньше, при этом наилучшей схемой экранирования является схема 10, в которой сопротивление экрана

играет меньшую роль. Экраны во всех случаях следует изолировать, чтобы не допустить их случайного замыкания. Дополнительное заземление или частичное замыкание оболочки может ухудшить экранирующий эффект, так как при этом часть обратного тока будет протекать минуя экран. Для защиты линий с слабыми сигналами в высокочастотном магнитном поле используются кабели парной скрутки с двойной экранировкой. Внешний экран заземляется у концов кабеля (при длине кабеля не более 0,2 длины волны), а внутренний у источника сигнала.

Приведённые схемы экранирования позволяют существенно снизить не только магнитную, но и электрическую «наводку». Однако здесь требуется правильно выбирать место подключения экрана: при присоединении экрана к точке схемы, в которой не обеспечивается постоянный нулевой потенциал, помеха может попадать в сигнальные цепи через большую емкость сигнальный провод – экран интенсивнее, чем в случае отсутствия экрана.

Частотные возможности той или иной схемы экранирования зависят от конструктивных параметров линии передачи и влияния на нее источника сигнала и нагрузки. Экранированные кабели парной скрутки обеспечивают хорошую защиту от электромагнитных помех вплоть до частоты 100 кГц и удовлетворительно функционируют до 10 МГц. Сигналы прямого и обратного тока распространяются по внутренним проводникам, а токи помех текут только в экране. Предельная рабочая частота витой пары проводников определяется равномерностью и величиной шага скрутки. С ростом частоты сигнала ухудшается помехозащищенность, и увеличиваются отражения от неоднородностей линии. Коаксиальные кабели обеспечивают удовлетворительную помехозащищенность вплоть до 100 МГц. На частотах выше 1 МГц благодаря скин-эффекту коаксиальный кабель начинает действовать как триаксиальный: обратные токи сигнала текут по внутренней стороне экрана, а помех по внешней. На более низких частотах для защиты слабых сигналов применяются специальные триаксиальные кабели.

### **Описание лабораторного стенда**

Лабораторный стенд выполнен в металлическом корпусе, на передней панели которого расположены гнезда для подключения измерительных приборов (осциллографа или милливольтметра), а также органы управления [6]. Подключение измерительных приборов и образцов проводных линий к стенду показано на рис. 2.6.1.

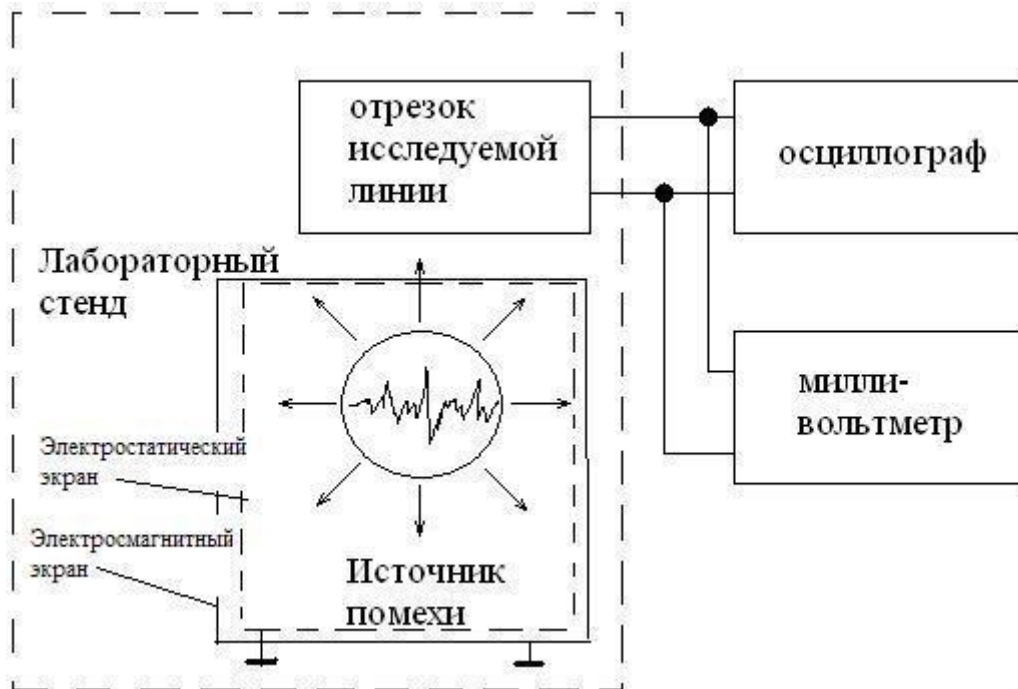


Рис. 2.6.1. Схема эксперимента

Напряжение, наведённое в проводной линии генератором помехи, регистрируется измерительными приборами.

### Порядок выполнения работы.

1. Изучите принцип работы лабораторного стенда и приборов.
2. Включите приборы и источник питания стенда.
3. Подключите выходные гнезда к входу осциллографа.
  - а) присоедините эквивалент выходного сопротивления генератора к входу отрезка исследуемой линии тумблером, расположенном на передней панели лабораторного стенда;
  - б) настройте осциллограф таким образом, чтобы на его экране уверенно наблюдалось напряжение помехи (при отсутствии специального генератора помехи наблюдается «наводка» от любого стороннего источника, например, от мощной местной радиовещательной станции, работающего силового оборудования и т.п.);
  - в) измерьте угол  $\Theta$ , определяющий положение проводника относительно источника помехи. Подключите к выходу стенда милливольтметр и измерьте эффективное значение напряжения помехи;
4. Измерьте уровни «наводки» в проводных линиях различных типов. Определите уровень помех для следующих электрических линий:
  - плоская пара неэкранированных проводников;
  - пара скрученных проводов с занулением у входа;
  - экранированный провод с незаземленным экраном;

- экранированный провод с заземлением экрана;
- экранированная двухпроводная линия (сигнальный и нулевой провод внутри экрана) с заземлением у входа.

5. Результаты измерений занесите в рабочий протокол. Все измеренные значения наведенного напряжения  $U_n$  переведите в децибелы, приняв за начальный уровень напряжение, измеренное в п.3:

$$A, \text{ дБ} = 20 \cdot \lg(U_{\Pi} / U_{\Pi 3}),$$

где  $U_{\Pi 3}$  – уровень «наводки», измеренный в п.3.

6. Оцените электрическую длину критических линий связи, наибольшие кондуктивные и кросс-помехи в печатной схеме конструкции спроектированного блока.

7. Измерьте уровни «наводки» в проводных линиях различных типов при электростатическом экранировании (латунный экран) и электромагнитном экранировании (стальной экран).

### Содержание отчета

1. Структурная схема эксперимента.
2. Экспериментальные результаты:  
уровни наводки для различных типов проводных линий.
3. Расчетное задание.
4. Анализ соответствия расчётных и экспериментальных данных.
5. Краткие выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Что такое внутренняя электромагнитная совместимость РЭС?
2. Какова помехоустойчивость основных видов логических элементов?
3. Какие линии связи являются электрически длинными и какие – короткими?
4. Как влияет согласованность линии связи на искажения сигнала?
5. Какие виды паразитных связей Вам известны?
6. Как определить амплитуду сигнала перекрестной помехи?
7. Какими системо – и схемотехническими методами можно уменьшить перекрестные помехи?
8. Какими конструкторско–технологическими методами можно уменьшить перекрестные помехи?
9. Какие задачи решают при конструировании узла на печатной плате?
10. В чем системность этих задач?

11. В чем системность обеспечения электромагнитной совместимости аналоговых узлов?

12. Какими системо– и схмотехническими методами можно обеспечить электромагнитную совместимость аналоговых узлов?

13. Как осуществляется электростатическое экранирование?

14. Как осуществляется магнитостатическое экранирование?

15. Как осуществляется электромагнитное экранирование?

16. Назовите основные источники помех в электронной аппаратуре.

17. Что понимается под электромагнитной совместимостью РЭС?

18. Что понимается под внутриаппаратурной электромагнитной совместимостью?

19. Для чего выделяют ближнюю и дальнюю зоны излучения источника помехи?

20. Объясните, каким образом наводится помеха в проводной линии в магнитном поле.

21. Объясните, почему витая пара проводников обладает лучшей помехозащищённостью по сравнению с плоской парой?

22. Объясните, каким образом наводится помеха в проводной линии в электрическом поле.

23. Каким образом ориентация проводника относительно источника помехи влияет на уровень «наводки»? Ответ поясните.

24. Каким образом уровень «наводки» зависит от длины проводников? Ответ поясните.

25. Каким образом частота генератора–помехи влияет на уровень «наводки» в проводнике?

26. Объясните, почему различные по конструкции проводные линии обладают разной чувствительностью к внешней помехе?

27. Каким образом (в каких местах) должна заземляться оплетка экранированного проводника для уменьшения помехи? Приведите пример.

28. Как проявляется действие так называемых «поперечной» и «продольной» помех в аналоговых устройствах РЭА?

29. От каких видов помех освобождаются с помощью экранов?

30. Как осуществляется электростатическое экранирование?

31. Как осуществляется магнитостатическое экранирование?

32. Как осуществляется электромагнитное экранирование?

33. Какими способами можно уменьшить взаимные помехи линий связи, объединенный в электрическом кабеле?

34. Объясните механизм подавления помех при электростатическом экранировании (латунный экран) и электромагнитном экранировании.

### 3. ВЫБОР СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ

#### 3.1. Методические указания по выбору системы охлаждения

**Цель работы:** выбор способа охлаждения для разработанной на конструкторском практикуме конструкции в соответствии с ОСТ4ГО.070.003 (I).

#### Исходные данные

- а) Мощность, рассеиваемая блоком или индивидуальным элементом  $Q$ , Вт.  
 б) Допустимая температура нагретой зоны  $t_{\text{доп}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .  
 в) Диапазон изменения температуры окружающей среды

$$t_{\text{ос min}} - t_{\text{ос max}}, ^{\circ}\text{C}.$$

Порядок выполнения работы. Определяют расчетную поверхность нагретой зоны  $S_3$ , м<sup>2</sup>  
 – для блока с воздушным охлаждением

$$S_3 = 2 [L_1 L_2 + (L_1 + L_2) L_3 K_3],$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - горизонтальные размеры кожуха;  $L_3$  - высота кожуха блока;  $K_3$  - коэффициент заполнения, (0,2–0,3)  
 – для блока при жидкостном и испарительном охлаждении и для индивидуального элемента при воздушном, жидкостном и испарительном охлаждении величины  $S_3$  рассчитывают по геометрическим параметрам охлаждаемой поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителями. Определяют величину удельной мощности нагретой зоны  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>

$$q = \frac{Q}{S_3}$$

Определяют минимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны  $t_{\text{доп}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t = t_{\text{доп}} - t_{\text{ос max}}.$$

По известным значениям  $q$  и  $t_{\text{доп}}$  осуществляют выбор способа охлаждения соответственно зоне на рис. 3.1.1. Нижняя часть рисунка относится к блокам, верхняя – к индивидуальным элементам.

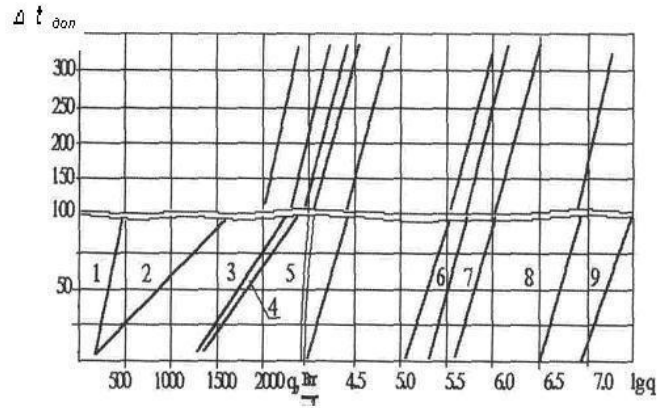


Рис. 3.1.1

В табл. 3.1.1 приведена расшифровка зон рис. 3.1.1.

Таблица 3.1.1

Зона	Система охлаждения
1.	Воздушное естественное
2.	Естественно-принудительное воздушное
3.	Принудительное воздушное
4.	Смешанное воздушно-жидкостное
5.	Жидкостное
6.	Жидкостно-испарительное без прокачки
7.	Жидкостно-испарительное с интенсивной прокачкой
8.	Жидкостно-испарительное с интенсивной прокачкой
9.	Испарение с прокачкой

### 3.2. Естественное воздушное охлаждение при нормальном атмо-сферном давлении

По значениям  $q$  и  $t_{доп}$  определенным в п. 2 и 3 находят значение вероятности  $P$  обеспечения нормального теплового режима блоков (рис. 3.2.1).

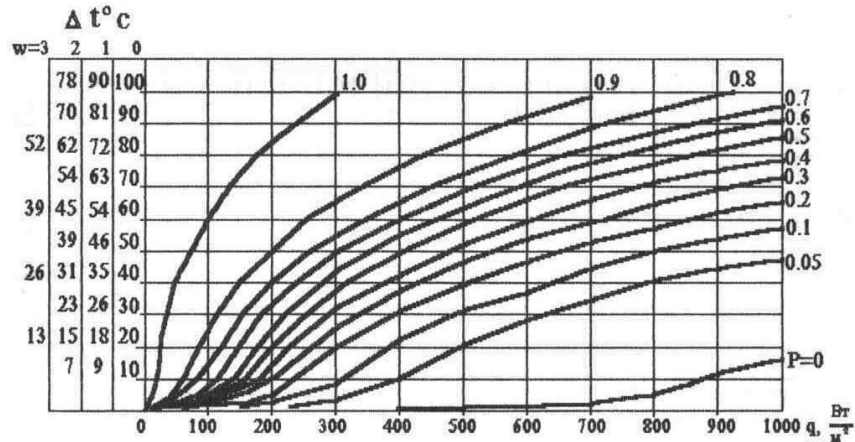


Рис. 3.2.1

В зависимости от области значения  $P$  (рис. 3.2.1), определяют:

а)  $P < 0,05$  — обеспечить нормальный тепловой режим блока практически невозможно;

б)  $0,05 \leq P < 0,1$  — обеспечить нормальный тепловой режим блока сложно;

в)  $0,1 \leq P < 0,3$  — обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно;

г)  $P \geq 0,8$  — обеспечить нормальный тепловой режим блока можно, причем не следует уделять особого внимания вопросам охлаждения.

### 3.3. Естественное воздушное охлаждение при атмосферном давлении отличном от нормального

Кроме перечисленных исходных данных должны быть известны значения следующих величин:

- атмосферное давление  $H_1$  вне корпуса, мм. рт. ст.
- атмосферное давление  $H_2$  внутри корпуса, мм. рт. ст. Определяется способ естественного охлаждения вышеизложенным методом.

Соответственно значениям  $H_1$  и  $H_2$  определяют значение поправочного коэффициента при помощи следующих таблиц:

- блоки с герметизированным кожухом табл. 3.3.1
- блоки с перфорированным кожухом табл. 3.3.2
- блоки с герметичным кожухом с наружным поддувом табл. 3.3.3. Далее определяют эквивалентное значение удельной мощности нагретой зоны:

$$q_1 = q \cdot \eta.$$



Таблица 3.3.1

Определение коэффициента  $\eta$ .

$\begin{matrix} H_1 \\ H_2 \end{matrix}$	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20
1520	0,9	0,92	0,95	0,98	1,0	1,04	1,11	1,14	1,16	1,18	1,21
760	—	1,0	1,01	1,04	1,07	1,11	1,19	1,22	1,24	1,26	1,29
560	—	—	1,06	1,10	1,13	1,17	1,25	1,28	1,31	1,33	1,36
460	—	—	—	1,11	1,15	1,19	1,26	1,29	1,36	1,34	1,36
200	—	—	—	—	—	1,26	1,32	1,35	1,38	1,39	1,41
100	—	—	—	—	—	—	1,35	1,38	1,40	1,42	1,45

Таблица 3.3.2

$\begin{matrix} H_1 = H_2 \\ \text{мм. рт.} \\ \text{ст.} \end{matrix}$	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
$\eta$	0,85	1,0	1,07	1,19	1,28	1,35	1,60	1,67	1,76	1,87	2,02	2,17

Таблица 3.3.3

$\begin{matrix} W \\ H_1 \end{matrix}$	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
1,2	0,9	1,0	1,03	1,06	1,10	1,16	1,24	1,28	1,30	1,30	1,35	1,37
3,4	0,89	1,0	1,05	1,09	1,15	1,22	1,32	1,35	1,38	1,38	1,45	1,48

### 3.4. Лабораторная работа № 3. Анализ теплового режима блока РЭС и выбор способа охлаждения

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний обеспечения теплового режима (ТР) путем оценки его параметров для спроектированной в лабораторной работе № 1 конструкции прибора.

#### Задачи лабораторной работы

К задачам лабораторной работы относятся:

- > анализ ТР на основании исходных данных по схеме ЭЗ;
- > коррекция конструкции для обеспечения ТР;
- > обоснование технико-экономической эффективности принятых реше-

ний.

### Задание для подготовки к работе

Ознакомьтесь с целями, задачами и содержанием лабораторной работы.  
Изучите теоретические сведения к работе.  
Пройдите входное тестирование или опрос для допуска к работе.

### Порядок выполнения задания

Используя исходные данные схемы ЭЗ:

- а) мощность, рассеиваемая блоком,  $Q$ , Вт.
- б) допустимая температура нагретой зоны  $t_{\text{доп}}$ , °C.
- в) диапазон изменения температуры окружающей среды

$$t_{\text{осmin}} - t_{\text{осmax}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

определяется:

- расчетная поверхность нагретой зоны  $S_3, \text{ м}^2$ .
- величина удельной мощности нагретой зоны  $q, \text{ Вт/м}^2$ .
- минимальная величина допустимого перегрева нагретой зоны  $t_{\text{доп}},$   
°C.
- По значениям  $q$  и  $t_{\text{доп}}$  осуществляют выбор способа охлаждения.

### Требования к оформлению отчета по лабораторной работе

В отчете должны быть приведены:

1. Общие задачи выполнения лабораторной работы.
2. Анализ ТР. Целью анализа является расширение информации об имеющихся данных на основе использования литературных источников, стандартов, а также уточнение и конкретизация технических ограничений на конструкцию изделия РЭА.
3. Коррекция конструкции для обеспечения ТР;
4. Обоснование технико-экономической эффективности принятых решений.

### Контрольные вопросы

1. Кондуктивная теплопроводность.
2. Конвекция и излучение тепла.
3. Электротепловая аналогия и расчет тепловых режимов аппаратуры.
4. Виды системы охлаждения.

## 4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

Процесс проектирования РЭА имеет целью создание конструкции, удовлетворяющей оптимальным соотношениям между заданными техническими характеристиками изделия, уровнем его надежности, технологичностью изготовления и удобством эксплуатации.

В соответствии с приведенными требованиями в ходе опытно-конструкторской разработки производится определение характеристик надежности:

$P_c(t)$  – вероятности безотказной работы

системы;  $\lambda_c$  – интенсивности отказов системы;

$T_{cp}$  – средней наработки на отказ системы.

Задачей расчетов надежности, проводимых в дипломном проекте, является вычисление указанных характеристик для проектируемого изделия.

### 4.1. Этап эскизного проектирования

В ориентировочном расчете надежности, проводимом на этапе эскизного проектирования, учитывается влияние на надежность РЭА только количества и типов применяемых ЭРЭ.

1). Расчет интенсивности отказов РЭА при основном соединении ЭРЭ производится путем суммирования интенсивностей отказов всех ЭРЭ, входящих в РЭА:

$$\lambda_{oc} = N_1 \lambda_{o1} + N_2 \lambda_{o2} + \dots + N_m \lambda_{om} = \sum_{i=1}^m N_i \lambda_{oi}, \quad (4.1.1)$$

где  $N_1, N_2, \dots, N_m$  – количество однотипных ЭРЭ;  $\lambda_{o1}, \lambda_{o2}, \dots, \lambda_{om}$  – соответствующие им интенсивности отказов.

2). Вероятность безотказной работы модуля:

$$P_o(t_{\bar{o}p}) = e^{-t_{\bar{o}p} \sum_{i=1}^m N_i \lambda_{oi}} = e^{-t_{\bar{o}p} \lambda_{oc}}; \quad (4.1.2)$$

3). Составляем таблицу зависимости вероятности безотказной работы модуля от времени. При  $t_{\bar{o}p} > (0,2-0,3)T_{cp}$  данные вычисляются только по точной формуле (4.1.2).

Таблица 4.1.1

$T_{\bar{o}p}, \text{ч}$	100	200	500	1000
$P(t_{\bar{o}p})$				

На основании данных строится график зависимости вероятности безотказной работы модуля от времени.

4). Среднее время безотказной работы модуля:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (4.1.3)$$

## 4.2. Этап технического проектирования

На этапе технического проекта становятся известны реальные электрические и тепловые режимы работы ЭРЭ из эксперимента или расчетов. Поэтому табличные значения интенсивностей отказов каждого ЭРЭ –  $\lambda_{0i}$  могут быть уточнены путем введения соответствующих коэффициентов:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 \dots, \quad (4.2.1)$$

где  $a_1$  – эксплуатационный коэффициент отказов, учитывающий влияние электрической нагрузки и рабочей температуры;

$a_2, a_3, a_4$  – коэффициенты, учитывающие влияние номиналов, конструктивных особенностей и возможности ухода параметров ЭРЭ;

$a_5$  – коэффициент, учитывающий критичность ЭРЭ данного вида к действию механических нагрузок. Уровень механических нагрузок, действующих на РЭА, определяется техническими условиями;

$a_6$  – коэффициент, учитывающий соотношение между отказами типа «обрыв» и «короткое замыкание».

Коэффициенты  $a_1$  и  $a_5$  являются обязательными при расчётах реальных значений опасностей отказов. Коэффициенты  $a_2, a_3, a_4$  и  $a_6$  рассчитываются только для специальных схем.

Наиболее существенное влияние оказывают на надежность ЭРЭ электрическая нагрузка и температура.

### 4.2.1. Учёт электрической нагрузки

Режим электрической нагрузки учитывается коэффициентом нагрузки

$$K_n = \frac{X_{раб}}{X_{доп}}, \quad (4.2.1.1)$$

где  $X_{раб}$  – значение параметра  $X$  ЭРЭ в рабочем режиме;

$X_{доп}$  – номинальное или допустимое значение параметра ЭРЭ.

Коэффициенты электрической нагрузки в зависимости от вида ЭРЭ рассчитываются по параметрам, в наибольшей степени влияющим на их надежность. При этом принимают наибольший из определяемых коэффициентов, т.е. учитывают наихудший случай.

После вычисления коэффициентов нагрузки рекомендуется провести их сравнение с допустимыми значениями.

В случае превышения допустимых значений коэффициентов нагрузки необходимо провести корректировку принципиальной схемы или замену типа ЭРЭ, так как несоответствие его режимов работы установленным нормам влечет за собой неминуемый отказ РЭА.

#### 4.2.2. Учет влияния тепла и механической нагрузки

По коэффициентам электрической нагрузки  $K_H$  и температуре окружающей среды  $t$ , °C с помощью таблиц или графиков определяется эксплуатационный коэффициент отказов

$$a = \lambda_i / \lambda_{0i} \quad (4.2.2.1)$$

Влияние механической нагрузки на изменение интенсивности отказов  $\lambda_i$  учитывается коэффициентом жесткости эксплуатации  $a_5$ .

Все возможные виды условий механического нагружения сведены к трем группам, к которым и относится используемый объект установки.

При эксплуатации в лабораторных условиях  $a_5 = 1$ , и расчеты проводятся с учетом только эксплуатационного коэффициента отказов  $a_1$ .

Окончательное уточнение характеристик надёжности проводится путем учета конструктивных особенностей ЭРЭ, их номиналов и возможности ухода параметров. Методика расчета приводится в следующих разделах для различных видов ЭРЭ.

Таблица 4.2.2.1

Наименование ЭРЭ	Вид аппаратуры		
	наземная	корабельная	Для ЛА
	а5		
1	2	3	4
Магнетроны, клистроны, ЛБВ	2-3	6-12	16-21
Электровакuumные приборы	3-5	6-10	18-20
Кенотроны высоковольтные	3	5	15
Электронно-лучевые трубки	2	5	10
Транзисторы	1	3	6
Диоды	1,5	4,5	9
Резисторы композиционные	1,5	4	7,5
Резисторы проволочные	1	3	8
Резисторы переменные	1	3	30
Конденсаторы:			
Бумажные и металлобумажные	1,5	4,5	17
Слюдяные	1	2	8
Керамические	1,5	3	10
Электролитические	3	9	15

Дроссели и трансформаторы	1-4	2-8	5-12
Индуктивности	4	10	24
Переключатели	4	6-8	20-36
Разъёмы	4	4	12
Сельсины	3	9	14
Реле	4	6	30
Линии задержки	4	7	10
Кварцы	4	6	9
Панели ламповые	2,5	5	8

### 4.2.3. Учет конструктивных особенностей ЭРЭ

Для транзисторов реальное значение интенсивности отказов

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_1 a_2 a_5 a_6, \quad (4.2.3.1)$$

где  $a_2$  – коэффициент, учитывающий влияние ухода параметров.

В качестве параметра транзистора принят коэффициент усиления по напряжению  $\beta$ , и в зависимости от его изменения значение коэффициента  $a_2$  определяется по табл. 4.2.3.1.

Таблица 4.2.3.1

Изменение параметра	$a_2$ для транзистора	
	германиевого	кремниевого
$20\% \leq \Delta\beta / \beta_{ном} \leq 30\%$	1	1
$30\% \leq \Delta\beta / \beta_{ном} \leq 50\%$	1-1,5	1,5-2
$50\% \leq \Delta\beta / \beta_{ном}$	2	2-3

Для полупроводниковых диодов реальное значение интенсивности отказов

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_1 a_2 a_5 a_6, \quad (4.2.3.2)$$

где  $a_2$  – коэффициент, учитывающий влияние ухода параметров от действия механической нагрузки.

Практически для всех типов кремниевых диодов коэффициент  $a_2 = 1$ , а для германиевых диодов зависит от  $a_5$  и определяется по табл. 4.2.3.2.

Таблица 4.2.3.2

$a_5$	1	100	$\geq 500$
$a_2$	1	2-2,5	3-5

Для резисторов реальное значение интенсивности отказов

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6, \quad (4.2.3.3)$$

где  $a_3$  – коэффициент, учитывающий влияние номинала резистора;  $a_4$  – коэффициент, учитывающий влияние мощности резистора.

Влияние ухода параметров не учитывается, т.е.  $a_2 = 1$ . Значение коэффициента  $a_3$  определяется по табл. 4.2.3.3, а коэффициента  $a_4$  по табл. 4.2.3.4.

Таблица 4.2.3.3

Тип резистора	$a_3$ для номиналов резисторов, кОм			
	10 -1	1,1 -100	110-620	>620
ТВО, ВС, УЛИ, УЛМ, УНУ, С2-1, МТ, МТБ, МЛТ ОМЛТЕ, ОМЛТ,	0,3	0,5	0,6	2
БЛП, С2-14, МГП, СП, СПЕ, СПО	0,3 0,5	0,6 0,6	1 0,8	2 -

Таблица 4.2.3.4

Тип резистора	$a_4$ при номинальной мощности резисторов, Вт					
	0,125	0,25	0,5	1	2	5-60
ВС, УНУ, ТВО	-	0,8	1	3	6	10
УЛИ, С2-1	0,5	1	2	3	-	-
МТ, МТЕ, БЛП, С2-6	1,5	1,2	1	1	0,5	-
МЛТ, ОМЛТ, ОМЛТЕ, С2-13, С2-14, С2-15	-	0,8	1	2	3	-

Для конденсатора реальное значение интенсивности отказов

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6, \quad (4.2.3.4)$$

где  $a_2$  – коэффициент, учитывающий влияние номинальной емкости конденсатора;  $a_3$  – коэффициент, учитывающий влияние номинального напряжения конденсатора;  $a_4 = 1$ .

Для бумажных конденсаторов типа БМ-2, БМТ-2, БГТ, ОКБГ, ОКПБ значения коэффициента  $a_2$  определяются по табл. 4.2.3.5, а для коэффициента  $a_3$  – по табл. 4.2.3.6.

Таблица 4.2.3.5

$C_{ном},$ мкФ	<0,01	0,01 – 1	>1
$a_2$	0,5	1	2

Таблица 4.2.3.6

$U_{ном}, В$	160-250	300-600	700-750	1000-1500
$a_3$	0,7	1	2	5

Для металобумажных конденсаторов типа МБМ, ОМБГ, МБГО, МБГТ, К 42-4 значения коэффициента  $a_2$  определяются по табл. 4.2.3.9, а для коэффициента  $a_3$  – по табл. 4.2.3.10.

Таблица 4.2.3.7

$C_{ном},$ мкФ	<1	2-10	>10
$a_2$	1	2	3

Таблица 4.2.3.8

$U_{ном},$ В	250	300-600	700-750	1000-1500
$a_3$	0,7	1	2	5



Реальное значение интенсивности отказов для керамических конденсаторов типа КТ-1Е, КТ-2Е, КТП-Е, КОЕ, КЛС, КПМ

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_1 a_5 a_6; \quad (4.2.3.5)$$

для электролитических типа К53-4, К53-5А, К53-6А и слюдяных конденсаторов

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_1 a_3 a_5 a_6;$$

Значения коэффициента  $a_3$  для электролитических конденсаторов определяются по табл. 4.2.3.9, а для слюдяных – по табл. 4.2.3.10.

Таблица 4.2.3.9

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	6	15	20-30
$a_3$	1	2	3

Таблица 4.2.3.10

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	250	500	1000
$a_3$	2	1	3

Для разъёмов. Реальное значение интенсивности отказов для разъёмов типа РС, РП-4, РМ, ШР

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_2 a_5, \quad (4.2.3.7)$$

где  $a_2$  – коэффициент, учитывающий количество штырьков разъёма и определяемый по графику рис. 4.2.3.1.

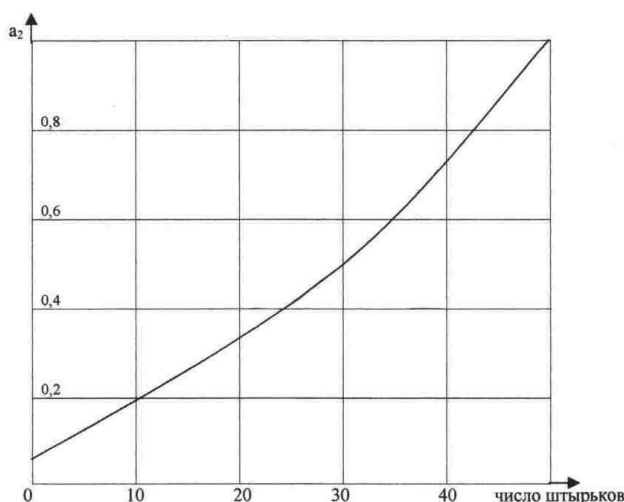


Рис. 4.2.3.1. Зависимость эксплуатационного коэффициента отказов для разъёмов

В уточненном варианте расчета характеристики надежности получают более высокими, так как меньшее число допущений и большее количество используемой информации позволяет получить более достоверные оценки.

#### 4.2.4. Расчет надежности функциональных узлов на микросхемах

Надежность функциональных узлов на микросхемах (МС) может быть также оценена с помощью характеристики интенсивности отказов.

Интенсивность отказов МС определяется следующим образом:

$$\lambda_{i, \text{МС}} = \lambda_{oi, \text{МС}} K_{ni, \text{МС}} a_7 a_T, \quad (4.2.4.1)$$

где  $\lambda_{oi, \text{МС}} = 3 \cdot 10^{-8} - 1,5 \cdot 10^{-8}$  1/ч – интенсивность отказов  $i$ -ой  $\mu$  при

нормальных условиях эксплуатации;  $i$  – тип (серия)  $\mu$ ;  $K_{ni, \text{МС}}$  – коэффициент нагрузки  $i$ -ой МС, определяемый способом, зависящим от серии нагружающих МС;  $a_7 = 2,5$  – коэффициент, характеризующий свойства корпуса МС,  $a_T$  – эксплуатационный коэффициент отказов, определяемый по графику рис. 4.2.4.1

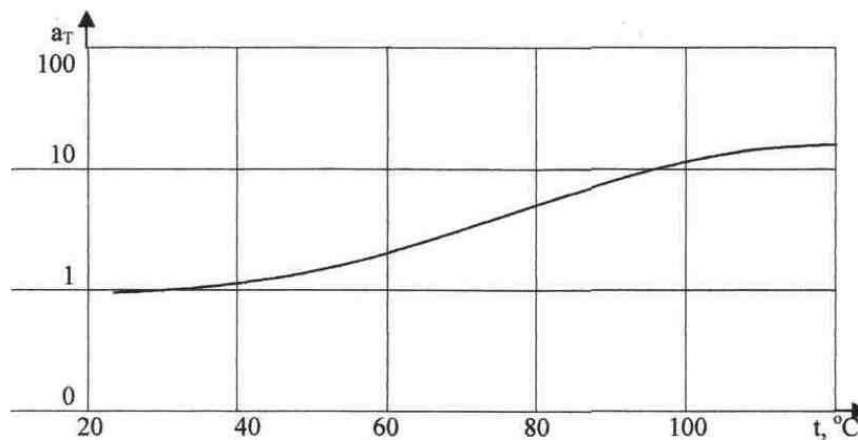


Рис. 4.2.4.1. Зависимость коэффициента  $a_T$  от температуры.

Интенсивность отказов внешних выводов

$$\lambda_B = \sum_i N_{B,i} \lambda_{B,i}, \quad (4.2.4.2)$$

где  $\lambda_{B,i}$  – интенсивность отказов внешнего соединения;  $\lambda_{B,i} = 7 \cdot 10^{-10}$  1/ч – для алюминиевых проводников, соединяемых при помощи ультразвуковой пайки;  $N_{B,i}$  – число внешних выводов МС;  $\lambda_B$  – интенсивность отказов внешних выводов МС, реализующих функциональный узел.

Интенсивность отказов внешнего узла:

$$\lambda_c = \left( \sum_i \lambda_{i, \text{МС}} \right)^{a_5}, \quad (4.2.4.3)$$

где  $a_5$  – коэффициент жесткости, учитывающий условия эксплуатации.

Все данные заносятся в табл. 4.2.4.1

Таблица 4.2.4.1

Таблица для результатов расчета надежности.

пп	Обозначение ЭРЭ	Эффективное значение параметра	Коэф. ки, $K_H$	Кол-во $N_i$	Эксплуатационный отказ $a_i$	Интенсивность отказа $\times 10^{-6}$ 1/ч			Коэф. $a_5$	
						$\alpha_i$	$i$	$i\lambda_i$		

### 4.3. Оценка характеристик восстанавливаемости электронной аппаратуры

Восстанавливаемость системы – это способность РЭА восстанавливать свои свойства в результате ремонта. При этом определяют характеристики восстанавливаемости:  $\mu_C$  - интенсивность ремонта,  $T_B$  – среднее время ремонта.

Полученные характеристики позволяют определить коэффициент готовности изделия к немедленной работе в установившемся режиме эксплуатации

$$K_z = \frac{T^{cp}}{T^{cp} + T_B} ; \quad (4.3.1)$$

и коэффициент ремонтпригодности

$$K_p = \frac{T}{T_B + T_{cp}} ; \quad (4.3.2)$$

определяющий приспособленность изделия к обнаружению и устранению отказов. Скорость восстановления зависит от приспособленности РЭА к ремонту - «ремонтпригодности», а также от организационных особенностей эксплуатации (снабжения, оснащённости приборами контроля, подготовленности мастеров и т. д.).

Для количественного измерения восстанавливаемости удобно использовать характеристики случайного процесса  $G(t_B)$  нахождения в ремонте, которые аналогичны соответствующим характеристикам надежности.

За меру восстанавливаемости принимается вероятность  $G$  осуществления ремонта системы за время  $t_B$ , т. е. Вероятность того, что время восстановления  $T_B$  будет меньше заданного времени  $t_B$

$$G(t) = F \{ T_B < t \}, \quad (4.3.3)$$

которая называется функцией ремонта.

Исходя из предложения, что известна величина  $\mu(t_B)$ , называемая интенсивностью ремонта, получим

$$G(t_B) = 1 - \exp \left[ - \int_0^{t_B} \mu(t_B) dt_B \right]; \quad (4.3.4)$$

При  $\mu_i = \text{const}$

$$G(t_B) = 1 - \exp[-\mu_i t_B] = 1 - \exp \left[ - \frac{t_B}{T_{Bi}} \right]; \quad (4.3.5)$$

среднее время ремонта будет

$$T_{Bi} = \frac{1}{\mu_i}. \quad (4.3.6)$$

Для вычисления весь диапазон времени делится на  $\Delta t_{Bi} = t_{Bi} - t_{B(i-1)}$ . Для каждого интервала вычисляется значение статистической интенсивности ремонта

$$\mu_{Bi} = \frac{N_B - N_{Bi}}{\Delta t_{Bi}}, \quad (4.3.7)$$

где  $\eta_{Bi}$  - число устройства РЭА, время окончания ремонта которых лежит в интервале  $\Delta t_{Bi}$ ;

$N_{Bi}$  - общее накопленное число устройств РЭС, отремонтированных за время  $\Delta t_{Bi}$ ;

$N_B$  - общее число устройства РЭС.

Полученные характеристики интенсивности ремонта  $\mu_c$  для отдельных ЭРЭ, входящих в РЭА, позволяют вычислить среднюю интенсивность ремонта РЭА в виде

$$\mu_c = \sum_{i=1}^m N_i \mu_i, \quad (4.3.8)$$

где  $m$  - число групп элементов с одинаковыми значениями  $\mu_i$ ;  $N_i$  - число элементов в  $i$ -ой группе.

По средней интенсивности ремонта  $\mu_c$  можно найти время восстановления РЭА

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{\mu_c} ; \quad (4.3.9)$$

На практике при оценке  $T_{\text{в}}$  пользуются таблицами затрат времени на устранение отказа для типовых ЭРЭ. В этом случае расчеты проводятся в рекомендуемой последовательности:

1. Определяется коэффициент отказов для каждой группы ЭРЭ по зависимости

$$\lambda_{\text{от}} = \frac{\sum_{i=1}^K \lambda_i}{\lambda_c} , \quad (4.3.10)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказа каждого вида ЭРЭ, которая определяется из таблицы расчета надежности;

$\lambda_c$  – интенсивность отказа всей системы;

$K$  – число ЭРЭ данного вида (диоды, резисторы и т. д.).

2. По таблице определяется среднее время восстановления данной группы элементов

$$\tau_{\text{от}i} = K t_{\text{н}i} , \quad (4.3.11)$$

где  $t_{\text{н}i}$  – время восстановления для данного элемента.

3. Определяется среднее время восстановления для всего модуля

$$T_{\text{с}} = \sum_{i=1}^m K_{\text{от}i} t_{\text{н}i} = \sum_{i=1}^m \tau_i , \quad (4.3.12)$$

где  $m$  – число групп элементов данного вида.

Полученные значения  $T_{\text{ср}}$  и  $T_{\text{в}}$  позволяют вычислить коэффициент готовности

$$K_z = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \mu_c} ; \quad (4.3.13)$$

и коэффициент ремонтпригодности

$$K_p = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} = \frac{\mu_c}{\lambda_c + \mu_c} ; \quad (4.3.14)$$

Уточненное значение коэффициента готовности (коэффициента технического использования) можно вычислить, учитывая время профилактики

$$K_z = \frac{T}{T_{\text{с}} + T_{\text{в}}^c + T_{\text{проф}}} \quad (4.3.15)$$

где  $T_{\text{проф}}$  – средние затраты времени, приходящиеся на выполнение профилактических работ, на цикл наработки и простоя  $T_{\text{ср}} + T_{\text{во}}$  ( $T_{\text{во}}$  – время обслуживания).

Таблица 4.3.1

Затраты времени устранения отказов

Тип ЭРЭ	Минимальное время восстановления	Максимальное время восстановления
	$t_{\text{вн}}^{\text{min}}$	$t_{\text{вн}}^{\text{max}}$
Электровакuumные приборы	0,225	0,956
Резисторы	0,3	1,275
Конденсаторы	0,4	1,7
Индуктивности	0,5	2,125
Трансформаторы	0,6	2,848
Реле	0,7	2,975
Переключатели	0,25	1,063
Измерительные приборы	0,4	1,7
Кварцы	0,175	0,744
Индикаторные лампы	0,03	0,128
Колебательные контуры	0,65	2,763
Предохранители	0,75	3,188
Транзисторы	1,75	3,18
Диоды	1,1	2,51
Прочие ЭРЭ (панели, клеммы, УФУ)	0,575	2,444

При ограниченном числе персонала, производящего ремонт, проявляется время ожидания  $T_0$ . В этом случае коэффициент готовности будет определяться выражением:

$$K_z = \frac{T_{\text{ср}} + T_0}{T_{\text{ср}} + T_{\text{в}}} , \quad (4.3.16)$$

$T_0$ —определяется по условиям организации ремонта.

Каждый расчет должен заканчиваться анализом результатов и выводами, характеризующими пригодность конструкции к эксплуатации в заданных условиях, а также обоснованными конструктивно-технологическими рекомендациями, направленными на повышение надежности.

#### **4.4. Лабораторная работа № 4. Расчет надежности конструкции**

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний обеспечения надежности путем оценки параметров конструкции для спроектированной в лабораторной работе № 1 конструкции прибора.

##### **Задачи лабораторной работы**

К задачам лабораторной работы относятся:

- > анализ надежности на основании исходных данных по схеме ЭЗ;
- > коррекция конструкции для обеспечения надежности;
- > обоснование технико-экономической эффективности принятых решений.

##### **Задание для подготовки к работе**

Ознакомьтесь с целями, задачами и содержанием лабораторной работы. Изучите теоретические сведения к работе. Пройдите входное тестирование или опрос для допуска к работе.

##### **Порядок выполнения задания**

Используя исходные данные режимов работы схемы ЭЗ, перечня элементов ПЭЗ и требований ТЗ по климатическим и механическим воздействиям определяются:

- $P_c(t)$  – вероятности безотказной работы системы;
- $\lambda_c$  – интенсивности отказов системы;
- $T_{cp}$  – средней наработки на отказ системы.
- коэффициент готовности изделия ;
- коэффициент ремонтпригодности,

##### **Требования к оформлению отчета по лабораторной работе**

В отчете должны быть приведены:

1. Общие задачи выполнения лабораторной работы.
2. Предварительный расчет надежности.

3. Коррекция конструкции для обеспечения надежности в соответствии с требованиями ТЗ;
4. Обоснование технико-экономической эффективности принятых решений.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные понятия и определения теории надежности.
2. Виды отказов.
3. Определение коэффициента нагруженности.
5. Количественные характеристики надежности.
6. Расчет характеристик надежности по внезапным отказам.
7. Понятие лямбда-характеристики.
8. Эксплуатационная надежность.
9. Коэффициенты готовности и ремонтпригодности.



## **5. ОСНОВЫ ЭРГНОМИКИ РЭА**

### **5.1. Эргономическое проектирование изделий РЭА**

Эргономика занимается исследованием трудной деятельности с целью её улучшения, т.е. синтезом оптимальных связей и условий в системе «Человек – оператор – РЭА». С позиций кибернетики система есть перечень факторов, которые должны быть приняты в расчёт. В эргономическом проектировании такими факторами являются антропометрические данные и условия окружающей среды, исходные данные при проектировании оптимальных характеристик рабочего места оператора.

Данные антропометрии необходимо обрабатывать с учётом конкретно-го типа аппарата. РЭА не требует большой точности в соразмерности, и данные антропометрии для неё регламентируются не абсолютными величинами, а определёнными диапазонами и требуют модульного выражения. При этом важно найти параметрические интервалы «безразличия» антропометрических данных по отношению к эргономически важным размерам устройств и оборудования. Необходим и достаточен учёт минимальных и максимальных значений антропометрических данных статистически значимой выборки потребителей.

Важнейшим этапом эргономического проектирования является оптимизация взаимодействия оператора с РЭА, компоновка панелей и пультов управления. Методика компоновки включает следующее:

1. Анализ ТЗ.
2. Составление схемы связей и алгоритма (последовательности операций) при работе оператора с панелью или пультом управления.
3. Формирование сенсорного поля (средств отображения информации), построение маршрутных карт обзора.
4. Формирование моторного поля (зоны управления), построение маршрутных карт рабочих движений.
5. Формирование зоны подсоединений и вариантов конструктивного исполнения.
6. Сравнение и оценка полученных вариантов панели, в частности, и по критерию минимума спонтанной отвлекаемости оператора, возникающей при попадании в маршрут обзора или управления незадействованных индикаторов и органов управления.

Эргономическое и эстетическое качество изделий радиоэлектронной аппаратуры определяет ее конкурентоспособность и удобство, надежность в эксплуатации. Хотя проектирование этих качеств радиоэлектронной аппаратуры является прерогативой особых подразделений, конструктор обязан знать основные требования и правила обеспечения требуемого эргономического и эстетического уровня конструкции, чтобы исключить лишние трудности и

издержки в дизайнерском проектировании. Для эргономической проработки проекта необходимо, используя справочные данные [7]:

1. Вычертить схему рабочего места оператора и по антропометрическим таблицам определить его размеры (рис. 5.1.1).

2. Согласовать динамические характеристики органов управления и отображения информации с психофизиологическими возможностями сенсорного аппарата человека.

3. Составить схему связей и алгоритм (последовательность операций) (рис. 5.1.2) при работе оператора с пультом управления, при наличии нескольких режимов работы аппаратуры; сделать соответствующие эскизные компоновки пульта, из которых нужно выбрать оптимальную по критерию минимума спонтанной отвлекаемости оператора (организации циклов, устранения пересечений и т.д.) [7].

4. Определить условия производственной среды на рабочем месте оператора. При выполнении пп. 3 и 4 необходимо:

а) наиболее важные органы управления и индикаторы располагать в оптимальных зонах рабочего, удобных для обслуживания и наблюдения;

б) органы управления и индикаторы группировать в логические блоки;

в) органы управления и индикаторы размещать с учетом частоты их использования; г) аварийные органы управления и индикаторы устанавливать в

легко-доступных местах; д) второстепенные органы управления и индикаторы

располагать в пределах полных и обязательно оптимальных; е) в функциональной группировке

все органы управления или индикатору размещать совместно; ж) каждый индикатор располагать

непосредственно над связанным с ним органом управления или все индикаторы размещать в верхней части, а

все органы управления - в нижней части панели; з) устанавливать

правильную и постоянную взаимосвязь между каждым органом управления и соответствующим ему индикатором

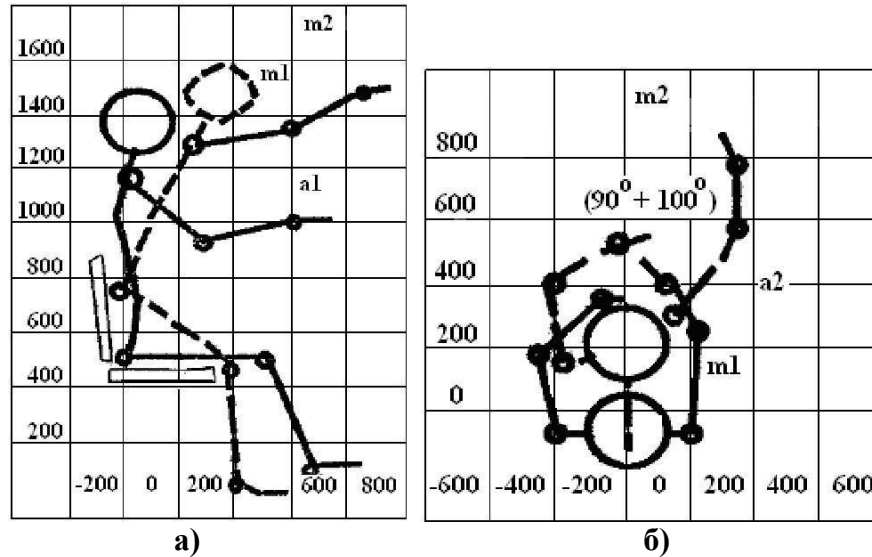


Рис. 5.1.1. Схема эргономической компоновки пультов управления (ПУ) радиоэлектронных систем (РЭС) в вертикальной (а) и горизонтальной (б) проекции

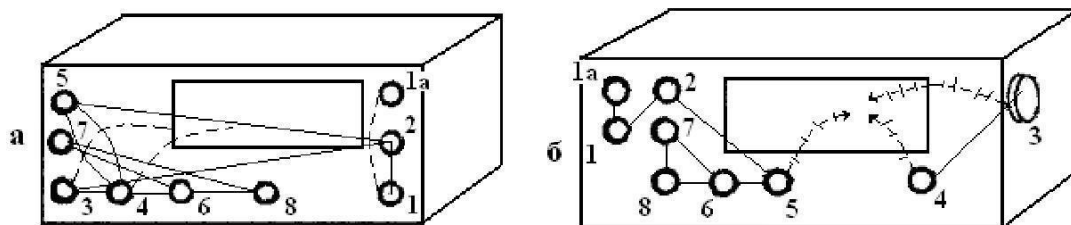


Рис. 5.1.2. Последовательность операции и схема связи: а - исходный вариант; б - оптимизированный вариант

1 - включение питания тумблером; 1а - контроль включения индикаторной лампочкой; 2 - переключение режима тумблером; 3 - переключение диапазона ручкой; 4 - настройка ручкой и контроль; 5 - уточнение настройки при включенном тумблере фильтра; 6 - окончательная регулировка громкости ручкой; 7 - подбор тона внутреннего генератора; 8 - регулировка тембра ручкой;

маршрут рабочих движений правая рука \_\_\_\_\_; левая рука -----  
; маршрут обзора -/-/-/-/.

Таблица 5.1.1

Измеряемая величина	Размер женского тела			
	средний	среднеквадратическое отклонение	наименьший (исключить 5% снизу)	наибольший (исключить 5% сверху)
1	2	3	4	5
Рост	1567	57	1470	1560
Зона вертикальной досягаемости	1981	76	1860	2100

Продолжение таблицы 5.1.1

Измеряемая величина	Размер женского тела			
	средний	среднеквадратическое отклонение	наименьший (исключить 5% снизу)	наибольший (исключить 5% сверху)
1	2	3	4	5
Длина руки, вытянутой в сторону	661	30	510	711
Зона боковой досягаемости (от плечевой точки)	568	26	526	610
Длина ноги	330	11	765	900
Ширина колен	226	18	200	256
Ширина плеч	349	16	323	375
Длина плеча	202	16	276	330
Ширина расстановки ног	726	72	600	846
Высота глаз	1458	52	600	1548
Высота плечевой точки	1281	52	1200	1365
Высота пальцевой точки	584	36	524	644
Длина руки	697	31	646	748
Высота верхнегрудной точки	1271	50	1190	1350
Высота линии талии	976	43	906	1046
Длина руки, вытянутой вперёд	686	31	635	737
Наибольший сагиттальный диаметр	300	-	-	-
Рост сидя II	1211	45	1136	1286
Высота глаз (сидя)	1100	42	1030	1170
Локтевая ширина	452	44	380	525
Наибольший диаметр бедер	383	31	337	439
Рост сидя I	842	30	790	890
Высота сиденья	370	22	334	406
Высота глаз над сиденьем	725	28	630	770
Высота плеч над полом	930	41	863	1010
Высота локтя над полом	605	35	550	663

Высота локтя над сиденьем	235	25	195	276
Высота колена	467	24	427	507

Продолжение таблицы 5.1.1

Измеряемая величина	Размер женского тела			
	средний	среднеквадратическое отклонение	наименьший (исключить 5% снизу)	наибольший (исключить 5% сверху)
1	2	3	4	5
Длина предплечья и кисти	427	18	395	457
Длина бедра редуцированная	472	22	436	508
Длина бедра	568	28	522	614
Длина ноги	983	47	905	1060
Диаметр бедра	143	13	122	164
Поясничный диаметр	255	40	188	332

Таблица 5.1.2

Измеряемая величина	Размер мужского тела			
	средний	среднеквадратическое отклонение	наименьший (исключить 5% снизу)	наибольший (исключить 5% сверху)
1	2	3	4	5
Рост	1680	58	1585	1775
Зона вертикальной досягаемости	2110	84	2000	2280
Длина руки, вытянутой в сторону	723	33	670	777
Зона боковой досягаемости (от плечевой точки)	622	30	572	672
Длина ноги	900	43	830	971
Ширина колен	230	18	200	260
Ширина плеч	380	18	350	410
Длина плеча	327	17	300	355
Ширина расстановки ног	830	72	710	950
Высота глаз	1560	58	1465	1655
Высота плечевой точки	1370	55	1280	1460
Высота пальцевой точки	620	33	565	675
Длина руки	754	35	696	812
Высота верхнегрудной точки	1360	52	1275	1445
Высота сосковой точки	1210	51	1125	1305
Высота линии талии	1035	47	955	1110
Длина руки, вытянутой вперёд	743	33	688	100
Наибольший сагитальный диаметр	300	-	-	-
Рост сидя II	1310	43	1240	1400
Высота глаз (сидя)	1180	43	1140	1250

Продолжение таблицы 5.1.2

Измеряемая величина	Размер мужского тела			
	средний	средне-квадратичное отклонение	наименьший (исключить 5% снизу)	наибольший (исключить 5% сверху)
1	2	3	4	5
Наибольший диаметр бедер	344	21	310	380
Рост сидя I	887	31	836	938
Высота сиденья	422	22	386	458
Высота глаз над сиденьем	770	30	720	820
Высота плеч над полом	1010	42	940	1080
Высота локтя над полом	654	33	600	710
Высота лопаток над полом	435	27	390	478
Высота локтя над сиденьем	232	25	190	273
Высота плеча над сиденьем	586	27	543	629
Высота колена	506	24	466	546
Длина предплечья и кисти	465	20	432	500
Длина бедра редуцированная	490	22	455	525
Длина бедра	590	27	540	633
Длина ноги	1040	18	960	1120
Диаметр бедра	135	12	115	155
Поясничный диаметр	230	28	184	276

Оптимальное поле зрения сидящего оператора охватывает пространство, простирающееся на  $60^\circ$  ниже уровня глаз и на  $30^\circ$  в любую сторону от средней плоскости тела. Данные антропометрии необходимо обработать с учетом конкретного типа аппаратуры. Радиоэлектронная аппаратура не требует большой точности в соразмерности; данные антропометрии для нее регламентируются не абсолютными величинами, а определенными диапазонами и требуют модульного выражения. При этом важно найти параметрические интервалы «безразличия», соответствующие антропометрическим важным размерам устройств и оборудования.

Необходимым и достаточным является учет минимальных и максимальных значений антропометрических данных статистически значимой выборки потребителей т.е. средних значений и дисперсий.

Важным этапом эргономического проектирования считается оптимизация взаимодействия оператора с радиоэлектронной аппаратурой при компоновке панелей и пультов управления. Методика компоновки включает следующее:

- анализ технического задания;
- составление схемы связей и алгоритма последовательности операций при работе оператора с панелью или пультом управления;

- формирование сенсорного поля (средств отображения информации), построения маршрутных карт обзора;
- формирование моторного поля (зоны управления), построение маршрутных карт рабочих движений;
- формирование зоны подсоединений и вариантов конструктивного исполнения;
- сравнение и оценка полученных вариантов панели, в частности, по критерию минимума спонтанной отвлекаемости оператора, возникающей при попадании в маршрут обзора или управления незадействованных индикаторов и органов управления.

## **5.2. Лабораторная работа № 5.**

### **5.2.1. Эргономика конструкций РЭС**

**Цель работы:** исследование факторов, определяющих оптимальность проектирования рабочего места оператора и пульта управления, расчёт параметров рабочей зоны и компоновка пульта управления.

#### **Порядок выполнения лабораторной работы 5.2.1.**

1. Вычертить схему рабочего места оператора и по антропометрическим таблицам определить его размеры. Размеры указать на схеме (рис. 5.2.1 и 5.2.2).

2. Произвести замеры основных своих антропометрических данных в соответствии со схемой, сопоставить их с табличными антропометрическими данными, произвести анализ (табл. 5.1.1 и 5.1.2) и предложить конструкторские средства компенсации отличных от табличных антропометрических данных для эргономической оптимизации рабочего места.

3. Составить схему связей и алгоритм (последовательность операций) при работе оператора с пультом управления, сделать три - четыре эскизных компоновки пульта, из которых нужно выбрать оптимальную по критерию минимума спонтанной отвлекаемости оператора (организация циклов, устранение пересечений и т.д.) (рис.5.2.3).

4. Определить условия производственной среды на рабочем месте оператора.

При выполнении пунктов 1 и 2 схемы выполнять согласно рис. 5.2.1 и 5.2.2, использовать справочные антропометрические данные, приведенные в табл. 5.1.1 и 5.1.2. Поправки к размерам человеческого тела с учётом одежды мужской - 25 мм, женской - 10 мм; обуви мужской - 30 мм, женской - 40 мм.

Задания на выполнение пунктов 3 и 4 выдает преподаватель. Маршрутные карты обзора и рабочих движений выполняют по примеру, приведённому на рис.5.2.3.



При выполнении пунктов 3 и 4 необходимо:

- а) наиболее важные органы управления и индикаторы располагать в оптимальных зонах рабочего места, удобных для обслуживания и наблюдения;
- б) органы управления и индикаторы группировать в логические блоки;
- в) органы управления и индикаторы размещать с учётом частоты их использования;
- г) аварийные органы управления и индикаторы размещать в легкодоступных местах;
- д) второстепенные, органы управления и индикаторы размещать в пределах полных зон, но необязательно в пределах оптимальных зон;
- е) в функциональной группировке все органы управления и связанные с ними индикаторы размещать совместно;
- ж) каждый индикатор размещать непосредственно над связанным с ним органом управления или все индикаторы размещать в верхней части, а все органы управления - в нижней части панели;
- з) устанавливать правильную и постоянную взаимосвязь между каждым органом управления и соответствующим ему индикатором.

Оптимальное поле зрения сидящего оператора охватывает пространство, простирающееся на  $60^\circ$  ниже уровня глаз и на  $30^\circ$  в любую сторону от средней плоскости тела.

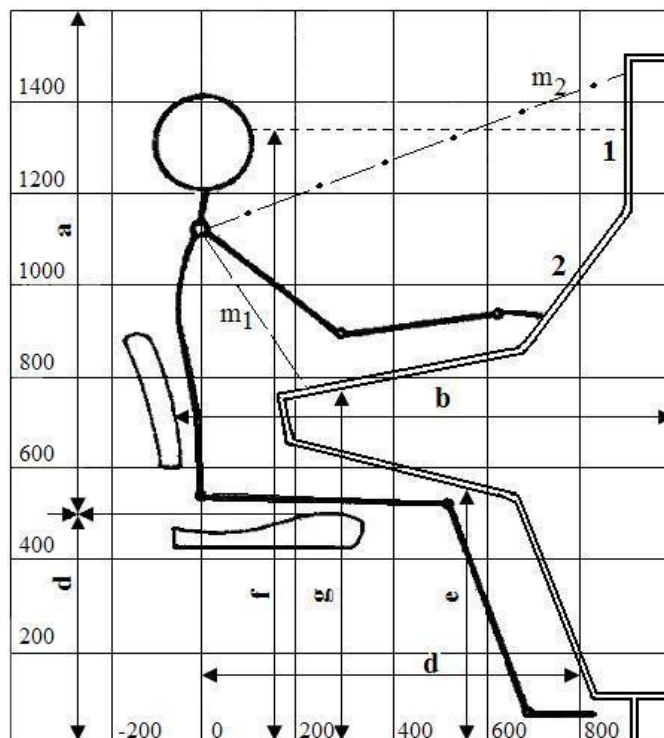


Рис. 5.2.1. Рабочее место оператора: 1 - сенсорное поле; 2 - моторное поле;  $a, b, c$  - размеры рабочего места;  $d, e$  - пространство для ног;  $g$  - высота рабочей поверхности;  $m_1, m_2$  - минимальная и максимальная зоны досягаемости,  $f$  - высота линии зрения

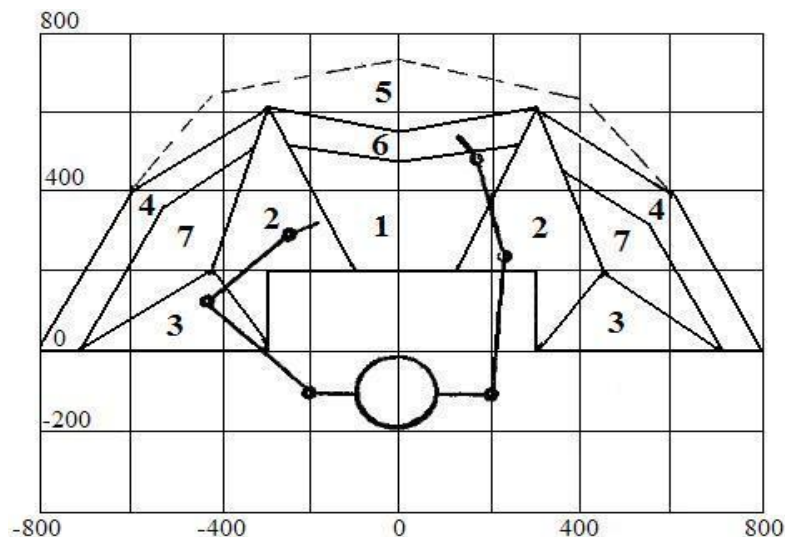
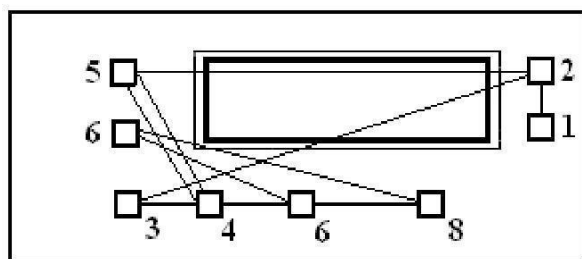


Рис. 5.2.2. Зоны расположения индикаторов и органов управления на пульте:

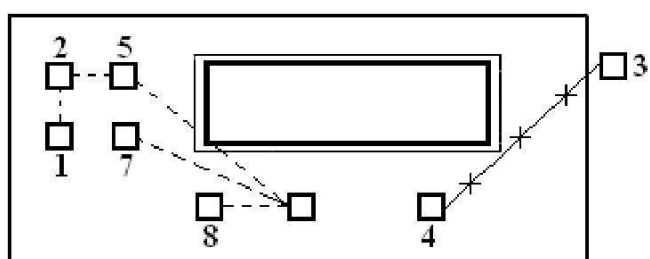
1,2,3 - часто используемые органы управления; 1,4 - контрольные приборы без регулировок; 1,4,5 - регулировки, требующие высокой остроты зрения; 5,6,7 - кнопки; 1,2 - тонкие регулировки; 1,2,7 - работа кистью руки



1 - исходный вариант

левая рука -----

правая рука —X—X—X—



2 - оптимизированный вариант

Рис. 5.2.3. Схема связей и последовательность операций

Последовательность связей на рис. 5.2.3 следующая: 1 - включение питания тумблером; 2 - переключение режима тумблером; 3 - переключение диапазона ручкой; 4 - настройка ручкой; 6 - предварительная регулировка громкости; 5 - уточнение настройки при включённом тумблере фильтра; 7 - подбор тона внутреннего генератора; 8 - регулировка тембра ручкой; 6 - окончательная регулировка громкости ручкой.

## Содержание отчёта

Оформление отчёта должно соответствовать требованиям ЕСКД и СТП к текстовым и графическим документам. В отчёте необходимо представить следующие разделы:

1. Схема рабочего места оператора с основными размерами.
2. Антропометрическая таблица с указанием соответствия замеров среднестатистическим справочным данным средства конструкторской компенсации отклонений.

3. Три - четыре эскизных компоновки органов управления и средств отображения информации на панели или пульте управления и алгоритм работы оператора. Вариант панели или пульта управления выдаётся преподавателем,

4. Анализ рабочего места оператора в условий производственной среды, рекомендации по его оптимизации.

### 5.2.2. Исследование психофизиологического состояния оператора и определение точностных характеристик системы «ОПЕРАТОР-РЭА»

Для выполнения данной работы необходимо знание основных положений вероятностного анализа, а также прикладной теории информации и математической статистики. Необходимо знать основные характеристики психофизиологической напряжённости оператора.

Основным показателем состояния оператора, его системы кровообращения (гемодинамики) является пульс. Наиболее распространена регистрация пульса при помощи электрокардиограммы (ЭКГ), т.е. регистрация биоэлектрической активности сердца. Нормальная эпюра биопотенциалов приведена на рис. 5.3.1, а. Характерные точки эпюры обозначены латинскими буквами, а именно *P* - волна, *QRS* - зубец и *T* - волна.

Снятие электрокардиограммы требует наложения пяти электродов (так называемых стандартных отведений) на запястья рук, голени ног и на грудь с марлевой прокладкой между электродом и кожей, смазано специальной проводящей пастой или солевым раствором. Это ограничивает возможности ЭКГ в психофизиологическом эксперименте.

Наряду с ЭКГ большое распространение получили фотоплетизмографические методы регистрации пульса, основанные на измерении светонепроницаемости тканей, зависящей от кровенаполнения периферических капиллярных сосудов. Эпюра напряжения сигнала пульса фотозлектрического датчика, приведённая на рис. 5.3.1, б, отображает мышечную активность сердца.

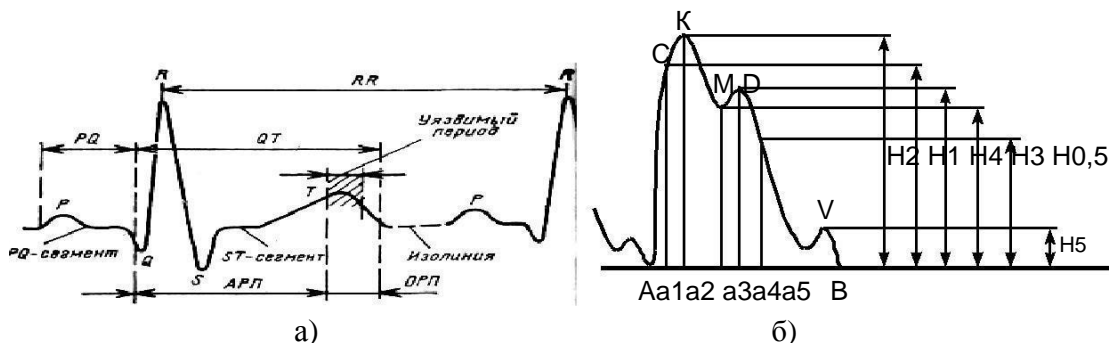


Рис. 5.3.1. Сигналы ЭКГ (а) и СПВ (б)

В спокойном состоянии период пульса оператора, измеряемый расстоянием между *R* - зубцами ЭКГ (*R* - *R* - интервалы) имеет корреляционную зависимость от дыхания. Это так называемая нормальная дыхательная аритмия,

выражающаяся в укорочении  $R-R$ - интервала, во время вдоха и удлинении его во время выдоха.

По мере нарастания психофизиологической нагрузки на оператора и наступления, стрессового состояния дыхательная аритмия вырождается  $R-R$  интервал укорачивается и стабилизируется.

Соответственно гистограмма периода пульса трансформируется из бимодальной в унимодальную, асимметрия которой характеризует влияние более низкочастотных биоритмов (периодов адаптации, утомления и т.п., «тренд» изолинии пульса).

Анализ этих характеристик  $R-R$  - интервалов и позволяет определить психофизиологическую напряжённость оператора.

Р. М. Баевским предложены оценки показателей математического анализа ритма сердца (табл. 5.3.1) и следующая рабочая классификация состояний организма по степени напряжения регуляторных систем:

1. Состояние полной или частичной адаптации организма к внешним условиям, которая сопровождается минимальным (или оптимальным) напряжением механизмов регуляции.

2. Состояние напряжения, которое проявляется мобилизацией защитных организмов, в том числе повышением активности симпатoadреналовой и других систем организма.

3. Состояние перенапряжения, для которого характерны недостаточность адаптационных механизмов, их неспособность обеспечить оптимальную, адекватную реакцию организма на воздействие факторов окружающей среды.

4. Состояние срыва (полома) механизмов адаптации, в котором можно выделить две стадии:

а) истощение (астенизацию) регуляторных механизмов с преобладанием неспецифических изменений;

б) преморбидное состояние (предболезнь) с преобладанием специфических изменений.

Индекс напряжения Р. М. Баевского показывает степень напряжения регуляторных механизмов ритма сердца, вычисляется по формуле

Таблица 5.3.1

Оценки показателей математического анализа ритма сердца

Обозначение	Наименование и формулы вычисления показателя и его доверительного интервала $\pm \Delta$	Физиологическая интерпретация
$M, \bar{X}$	Математическое ожидание (среднее) $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $\Delta = Z_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	Активность гуморального канала регуляции ритма сердца

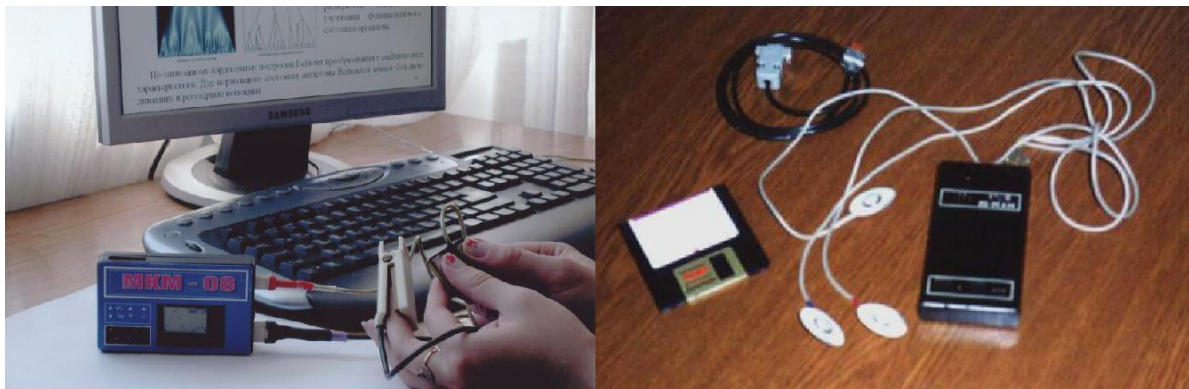
Продолжение таблицы 5.3.1

Обозначение	Наименование и формулы вычисления показателя и его доверительного интервала $\bar{X} \pm \Delta$	Физиологическая интерпретация
$s$	Среднеквадратическое отклонение (сигма) $\bar{D}$ , где $D$ – дисперсия; $D = (n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ $\Delta_D = \frac{2D(n-1)}{2(n-1)-1 \pm Z_p}$	Активность вагусной регуляции ритма сердца
МО	Мода – наиболее вероятное значение случайной величины (середина разряда гистограммы, имеющего максимальную частоту)	Активность гуморального канала регуляции ритма сердца
АМО	Амплитуда моды: вероятность моды в процентах (максимальная относительная частота гистограммы)	Активность симпатической регуляции ритма сердца
ИН	Индекс напряженности Р.М. Баевского АМО $ИН = \frac{АМО}{2\Delta X \cdot МО}$	Степень напряжения регуляторных механизмов ритма сердца
$\Delta X$	Вариационный размах $\Delta X = X_{\max} - X_{\min}$	Активность вагусной регуляции ритма сердца
$f_{эф}$	Эффективная частота пропускания спектра $f_{эф} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} S_i \Delta \omega}{\max}$	Активность доминирующего контура управления ритмом сердца
$\Delta_g$	Амплитуда дыхательных волн	Активность автономного контура управления ритмом сердца
$S_{MB1}$	Амплитуда медленных волн первого порядка	Активность регуляторных механизмов, обеспечивающих локальное приспособление сосудистой системы к изменениям ударного и минутного объемов крови
$S_{MB2}$	Амплитуда медленных волн 2-го порядка	Активность центрального контура управления ритмом сердца



## Назначение рекордеров типа МКМ

Аппаратно-программный комплекс на базе микроэлектронных кардиомониторов (рис. 5.3.2) предназначен для длительного наблюдения и накопления в твердотельном запоминающем устройстве (ЗУ на основе флэш-памяти, сохраняющей информацию при отключенном питании) кардиоинтервалов (КИ) с последующей обработкой и анализом кардиоинтервалограммы (КИГ) на персональной ЭВМ с целью выявления аритмий, контроля действия физических нагрузок, лекарственных препаратов, физио- и бальнеопроцедур, аутотренинга и психотерапии, для донозологической диагностики и т.п.



а б Рис. 5.3.2. АПК на базе МКМ-08 (а) и рекордер МКМ-03(б)

В состав комплекта входят блок кардиомонитора, электроды для снятия кардиосигнала, интерфейсный кабель сопряжения кардиомонитора с ПЭВМ, дискета с программой анализа (КИГ) на ПЭВМ, инструкция по эксплуатации. Дополнительно приобретаются стандартные разовые ЭКГ-электроды для длительного наблюдения и электропроводящая паста.

## Инструкция по применению

1. Установка ЭКГ-электродов. Микрокардиомонитор имеет два способа снятия кардиосигнала. Первый способ – это применение разовых ЭКГ-электродов, которые укрепляются на теле пациента (рис. 5.3.3, а). Для этого необходимо протереть кожу в месте крепления электродов 70%-ным раствором спирта и эфира в отношении один к одному. Углубление многоразового электрода заполняется электропроводной пастой с высотой мениска в центре не более 1 мм. Места крепления электродов: под правой ключицей на уровне 2-го межреберья для красного электрода, для черного на груди на основании мечевидного отростка и для голубого электрода на уровне грудного отведения по левой средней подмышечной линии. Провода электродов должны быть направлены в сторону прибора. Целесообразно дополнительно закрепить полосками лейкопластыря провода возле электродов для исключения

влияния натяжения проводов, вызывающие появление ложных сигналов (артефактов). Второй способ заключается в снятии биопотенциала кардиосигнала либо с пальцев левой и правой руки за счет контакта подушечек пальцев с электродами, закрепляемых липучками, либо с помощью закрепленных на запястье браслетов с электродами (рис. 5.3.3, б).

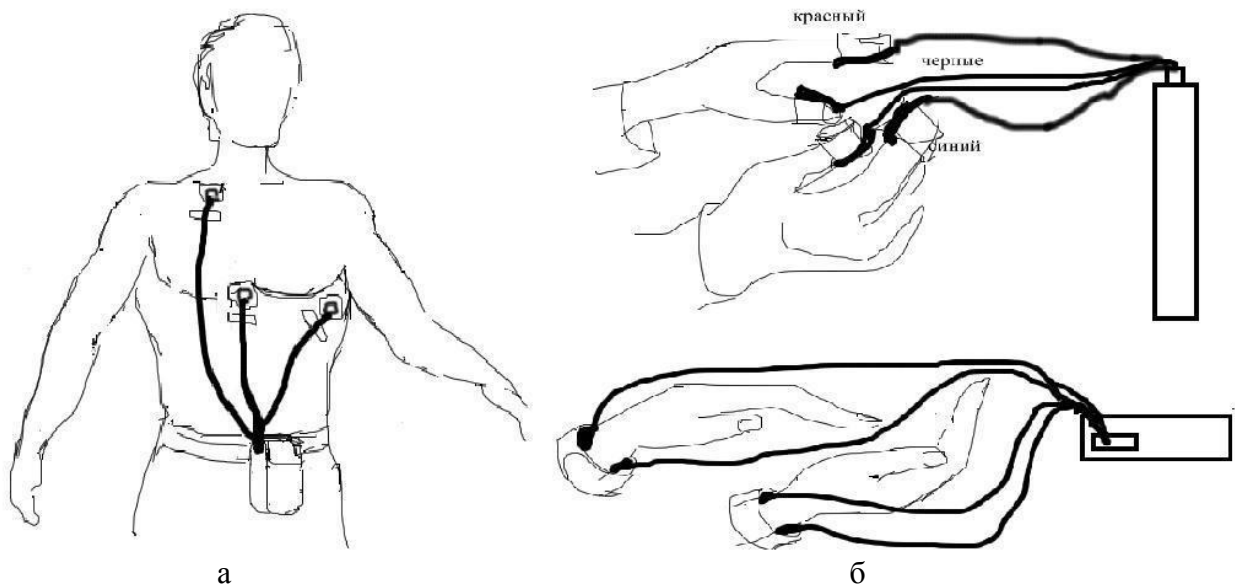


Рис. 5.3.3. Крепление электродов: а – на теле пациента, б – на руках.

2. Подключить электроды к прибору.
3. Включить микрокардиомонитор. При включении прибора автоматически производится тестирование основных узлов, при нормальной их работе звучит один звуковой сигнал. При правильной установке электродов в соответствии с периодом пульса будут раздаваться звуковые сигналы (щелчки) и мигать светодиод.
4. Для перевода кардиомонитора в режим накопления информации о кардиоинтервалах необходимо нажать один раз кнопку с одной точкой {.} («запись»). Подтверждением включения режима накопления служит короткий звуковой сигнал и пропадание щелчков кардиосигнала, при этом светодиод будет продолжать мигать для контроля наличия сигнала пульса.
5. При нажатии кнопки {.} в записи появляется идентификационная метка особых моментов в эксперименте.
6. Остановка режима накопления кардиоинтервалов производится тройным нажатием кнопки с тремя точками {...} («стоп»). При этом звучит серия из восьми коротких тональных сигналов и появляется звуковой сигнал пульса. Новый цикл записи может быть продолжен нажатием кнопки {.} («запись»).
7. Если предыдущие записи не нужны, то перед включением питания прибора необходимо нажать и, удерживая кнопку {...} («стоп»), включить пи-



тание, дождаться двух тональных сигналов, после чего запись начнется с нулевой ячейки памяти.

8. Для работы в режиме «*on line*» (с возможностью наблюдения кардиоинтервалограммы в процессе эксперимента на дисплее ПЭВМ) к разъему МКМ-3м подключается комбинированный интерфейсный кабель, совмещенный с ЭКГ-электродами.

### Установка программного обеспечения

Для установки программы достаточно копировать файлы «*ksrgonl.com*» с дискеты в каталог пользователя (например, *C:\KSRG\*).

Для настройки программы необходимо проделать следующие действия:

1. Перезагрузить (!) компьютер в режиме *MS-DOS*.
2. Перейти в каталог, назначенный при установке, и запустить программу *KSRG.COM*.

3. В меню «УСТАНОВКА» клавишами {*PgUp*, *PgDn*} устанавливаются следующие параметры:

- а) цвет изображения – черно-белый или цветной;
- б) монитор-3;
- в) порт – *COM 1*, при использовании 9-ти контактного разъема или порт – *COM 2*, при использовании переходного адаптера с 25-ти контактным разъемом;
- г) сохранить установки.

### Применение программы

Для выгрузки в ПЭВМ накопленной информации из кардиомонитора вместо электродов к нему подключается интерфейсный кабель, другой конец которого подключается к порту *COM1* или через переходник к *COM2PC*.

**ВНИМАНИЕ!** При подключении кабеля к ПЭВМ необходимо снять электростатический заряд, касаясь корпуса или заземления ПЭВМ.

Для ввода программы обработки информации необходимо перезагрузить компьютер в режиме *MS-DOS*, перейти в каталог назначенный в предыдущем разделе и запустить программу *KSRG.COM*. В верхней строке дисплея появляется меню режимов работы программы.

В меню «ВЫБОР РЕЖИМА» устанавливается режим «ВВОД ИНФОРМАЦИИ ИЗ МОНИТОРА» { $\square$ , Ввод} (также в соответствии с подсказкой). На экране появятся «бегущие» цифры, показывающие выгрузку информации из монитора. После окончания выгрузки устанавливается режим ввода данных в базу и заполняется строка данных о пациенте {клавиатура}, { $\square$ }. Если по каким-либо причинам Вы не ввели данные о пациенте или были допущены ошибки, то впоследствии следует выбрать режим «ВЫВОД В БАЗУ ДАННЫХ» и ввести необходимые исправления.

Войдя в режим «ПРОСМОТР» можно вывести на дисплей 1-й листинг, содержащий кардиоинтервалограмму, гистограмму кардиоинтервалов, причем можно выбрать желаемые участки кардиоинтервалограммы с помощью клавиши  $\{F4\}$ . В верхней строке находится регистрационная запись. На боковом поле указывается общее время наблюдения и общее количество отсчетов  $K_{отс}$ . Ниже указывается время начала и длительности отображаемого фрагмента и число отсчетов в этом фрагменте, размах  $D$ , мода  $M_o$ , амплитуда моды  $A_{Mo}$  и величина индекса напряженности ИН, вычисленную по формуле Р.М. Баевского. При нажатии клавиши  $\{F2\}$  можно одновременно просматривать пять текущих 10-минутных фрагментов кардиоинтервалограммы.

Вызвав режим «кардиоспектрограмма»  $\{Esc\}, \{\bar{\phantom{x}}\}$  можно просмотреть 2-й листинг, содержащий спектр кардиоинтервалограммы и относительный состав нижних ( $L$ ), средних ( $M$ ) и верхних частот спектра ( $H$ ), причем можно выбрать желаемые участки спектра с помощью клавиш  $\{Alt\}-\{F4\}$ , затем  $\{Esc\}$  и «СОХРАНИТЬ УСТАНОВКИ». В правом поле указывается полоса Фурье-анализа спектра -  $\Pi_s$ . Полосу Фурье-анализа спектра -  $\Pi_s$  можно устанавливать с помощью одновременного нажатия клавиш  $\{Ctrl\}-\{F4\}$ .

Отношение спектральных плотностей мощности соответствующих интервалов КИГ может служить индексом эффективности (ИЭ) воздействия на перестройку функциональных систем.

Отношение спектральных плотностей мощности может определяться дифференцированно в устанавливаемых с помощью нажатия клавиш  $\{Alt\}-\{F4\}$  полосах спектра, соответствующих определенным регуляторным циклам, в частности, для стандартных диапазонов (инфранизкочастотного –  $ULF$ , низкочастотного –  $LF$  и высокочастотного –  $HF$ ). Процентное соотношение спектральных плотностей мощности отображается в числах и в виде секторов круга на боковой диаграмме.

Для получения Фурье-анализа спектра в режиме «*on line*» необходимо нажать клавишу ( $S$ ).

В нижнем правом углу экрана приводятся матрицы частот мод спектра и соответствующих спектральных плотностей мощности.

По полученным спектрам определяются скейлинги кардиоритма по модам ( $F$ ) и спектральной плотности ( $A$ ) кардиоритма, отражающие степень десинхроноза в гомеостазе. Если представить модель человеческого организма как открытую диссипативную систему с внутренним трением, а гомеостаз как систему слабосвязанных нелинейных эндогенных осцилляторов, взаимодействующих с экзогенными циклами окружающей среды, то синергетическим критерием устойчивости такой динамической системы является отсутствие конфликтов эндогенных циклов. Естественно предположить, что для здорового организма должно существовать определенное гармоническое равновесие между ритмами разной периодичности при гомеостазе, т.е. наличие определенного скейлинга и его вырождение при патологиях.

Для определения скейлингов (ренормализационной инвариантности) по модам спектра ( $F$ ) и спектральной плотности мощности ( $A$ ) выбираются достаточно длительные (несколько часов) временные интервалы.

В режиме «КАРДИОСПЕКТРОГРАММА» с помощью вызова клавишей  $\{F4\}$  задаются «окна» - начало и конец интересующего интервала. Без указания интервала спектр вычисляется для всего времени записи. В режиме «СКАТТЕРОГРАММА», выводится фазовый портрет кардиоритма, который показывает степень аритмии кардиоритма.

Для вывода на печать следует нажать клавишу  $\{F5\}$ . При этом будет распечатано текущее окно программы.

Для работы в режиме «*on line*» В меню «ВЫБОР РЕЖИМА» «ПРОСМОТР» устанавливается режим «Кардиоинтервалог *On-L*», при этом на дисплее выводится кардиоинтервалограмма в режиме реального времени. Возможна установка времени усреднения кардиоинтервалов с помощью клавиши  $\{F4\}$ . Для одновременного просмотра параллельно пяти 10-минутных последующих фрагментов записи необходимо нажать клавишу  $\{F2\}$ . При нажатии клавиши  $\{S\}$  выводятся спектральные характеристики пятиминутных фрагментов кардиоинтервалограммы.

### Просмотр данных без ввода из монитора

Для просмотра информации необходимо:

Запустить программу *KSRG.COM*  $\{\bar{\_}, \text{Ввод}\}$ .

В меню «ВВОД/ВЫВОД» выбрать режим «ВВОД ИЗ БАЗЫ ДАННЫХ»  $\{\bar{\_}, \text{Ввод}\}$ .

В раскрывшемся меню выбрать требуемую запись  $\{\bar{\_}, \text{Ввод}\}$ .

В меню «ПРОСМОТР» выбрать по желанию «КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАММА», «КАРДИОСПЕКТРОГРАММА», «СКАТТЕРОГРАММА»  $\{\bar{\_}, \text{Ввод}\}$ .

**Цель работы:** определение пропускной способности и надёжности работы системы «Оператор – РЭА», исследование влияния психологии и физиологии человека на трудовой процесс. Вариант работы указывается преподавателем как обработка результатов определенного эксперимента.

Работа включает следующие этапы:

- 1) теоретическую подготовку к выполнению работы;
- 2) экспериментальное определение точностных характеристик системы «Оператор – РЭА» для сигналов различной модальности (визуальной и акустической), латентных периодов пропускной способности оператора Латентные периоды определяются как среднее время стимул-реакция для каждой модальности сигналов, т. е. Среднее время «вопрос-ответ».

- 3) экспериментальное определение функционального состояния оператора;

4) математическую обработку экспериментальных данных и составление отчёта.

### Порядок выполнения лабораторной работы 5.2.2.

1. Экспериментально определить точностные характеристики системы «Оператор - РЭА». Эксперимент проводит бригада из 4 человек, каждый из которых по очереди выполняет функции «экспериментатора», «испытуемого», «контролёра-протоколиста» и «физиолога».

Экспериментатор предъявляет испытуемому на карточках (сигнал визуальной модальности) массив чисел попарно, результат суммирования которых испытуемым заносится в протокол и проверяется контролером - протоколистом. Затем эксперимент повторяется при сигнале акустической модальности, когда экспериментатор произносит числа. Во время всего эксперимента «физиолог» независимо регистрирует значения каждого периода пульса по кардиомонитору МКМ.

2. По результатам варианта эксперимента, предлагаемого преподавателем, определить следующие характеристики операторов:

а) латентные периоды операторов для сигналов различной модальности как среднее время ответа на один вопрос при замедленном темпе опроса (темп, при котором испытуемый успевает правильно ответить на вопрос);

б) пропускную способность оператора, как разность в единицу времени априорной и апостериорной энтропии сообщений по следующим формулам:

$$C = \frac{1}{T} (H_{анп} - H_{ансм}) = (-N \cdot \log_2 D - H_{сб}) \cdot \frac{1}{T}.$$

Здесь  $N$  – общее количество вопросов;  $T$  - время эксперимента;

$H_{сб}$  - энтропия эксперимента из-за сбоев (пропусков и ошибок);  $D$  - диапазон измерения чисел;

$$H_{сб} = \sum_{j=1}^6 \log_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot e}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{ij}{o}\right) - \sum_{j=1}^6 \frac{omj}{N \cdot j} \cdot \log_2 \frac{omj}{N \cdot j}},$$

где  $omj$  - количество ответов в эксперименте  $j$ -м на предположении нормального закона  $j$ -вопросов (в распределении относительной погрешности счета).

3. Одновременно с протоколом по результатам наблюдений с помощью кардиомонитора МКМ и программы *KSRC* строится вариационный статистический ряд *R-R*- интервалов пульса (рис. 5.3.4), по которому можно проследить изменения сердечно-сосудистой деятельности во времени (периоды адаптации, устойчивой работа, утомления и т.д.) и вычислить индекс напря-

женности (ИН) функционального состояния Р. М. Баевского (рис. 5.3.4 и табл. 5.3.1):

4. Проанализировать гистограмму периода пульса (рис. 5.3.4).

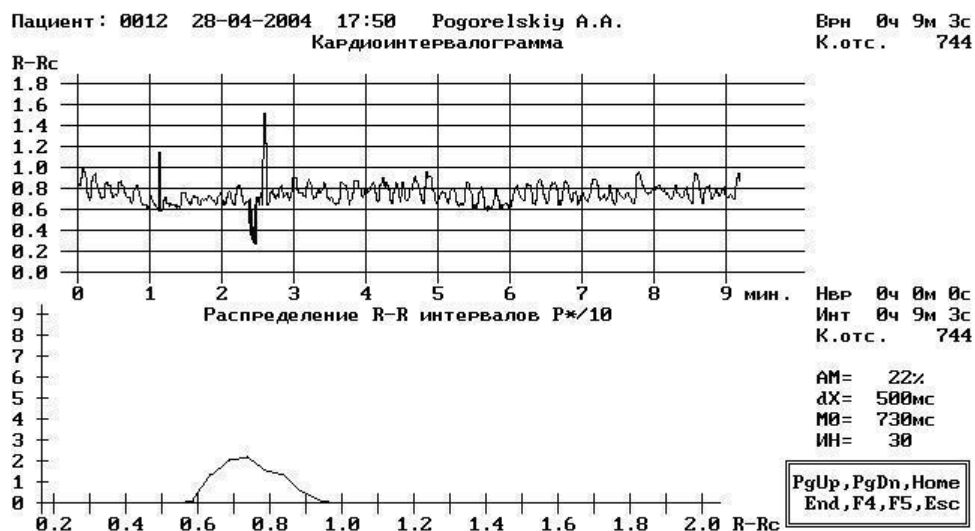


Рис. 5.3.4. Кардиоинтервалограмма и гистограмма КИ

Индекс напряжения Р. М. Баевского показывает степень напряжения регуляторных механизмов ритма сердца, вычисляется по формуле приведенной в таб. 5.3.1.

### Содержание отчёта

Отчёт выполняют в соответствии с требованиями ЕСКД, СТП он включает следующие разделы:

1. Протокол эксперимента. Пример приведен в таб. 5.3.2.
2. Таблицу расчётов пропускной способности операторов и латентных периодов для различных условий работы: в замедленном и ускоренном режимах, на расстоянии 1 и 3 м между экспериментатором и испытуемым, для визуального и акустического сигналов.
3. Кардиоинтервалограммы. Примеры приведен на рис. 5.3.5.
4. Гистограммы кардиоинтервалов для всех режимов работы оператора.
5. Краткий анализ и оценку психофизиологического состояния оператора пригодности его к работе.

Таблица 5.3.2

№	Числа	Итог	Байкалов И.И.	Погорельский А.А.	Толстикова Е.В.	Чарковский Д.Р.
1	71+17	88	88	88	88	88
2	31+52	83	83	83	83	83
3	62+19	81	81	81	81	81
4	55+45	100	100	100	110	100
5	67+34	101	91	101	101	101

Продолжение таблицы 5.3.2

№	Числа	Итог	Байкалов И.И.		Погорельский А.А.		Толстикова Е.В.		Чарковский Д.Р.	
6	44+32	76	76	76	76	76	76	76	87	76
7	82+27	109	109	109	109	109	109	109	109	109
8	77+33	110	110	110	110	110	110	110	110	110
9	36+17	53	53	53	53	—	53	123	53	53
10	43+95	138	138	138	138	139	138	128	138	138
11	22+65	87	87	87	87	87	87	87	87	87
12	23+32	55	55	55	55	55	55	55	55	55
13	61+90	151	151	151	151	151	151	—	151	151
14	87+63	150	150	150	150	150	150	160	150	150
15	89+98	187	177	—	187	187	186	187	177	187
16	55+99	154	154	154	154	154	154	154	154	—
17	14+85	99	99	99	99	99	99	99	99	99
18	58+11	69	69	69	69	69	69	69	69	69
19	25+78	103	93	103	103	103	103	123	103	107
20	34+56	90	90	90	90	90	90	110	90	90
21	41+54	95	95	95	95	—	95	95	95	95
22	34+49	83	73	79	83	83	83	133	83	73
23	64+79	143	143	143	143	158	143	143	143	133
24	99+11	110	110	—	120	110	110	110	110	110
25	97+72	169	169	169	169	169	169	169	169	—
26	31+97	128	128	132	128	128	128	128	120	128
27	75+28	103	103	92	103	—	103	165	103	103
28	12+24	36	36	36	36	36	36	36	36	36
29	17+84	101	101	101	101	101	101	101	101	101
30	85+36	121	131	131	121	121	121	121	121	121

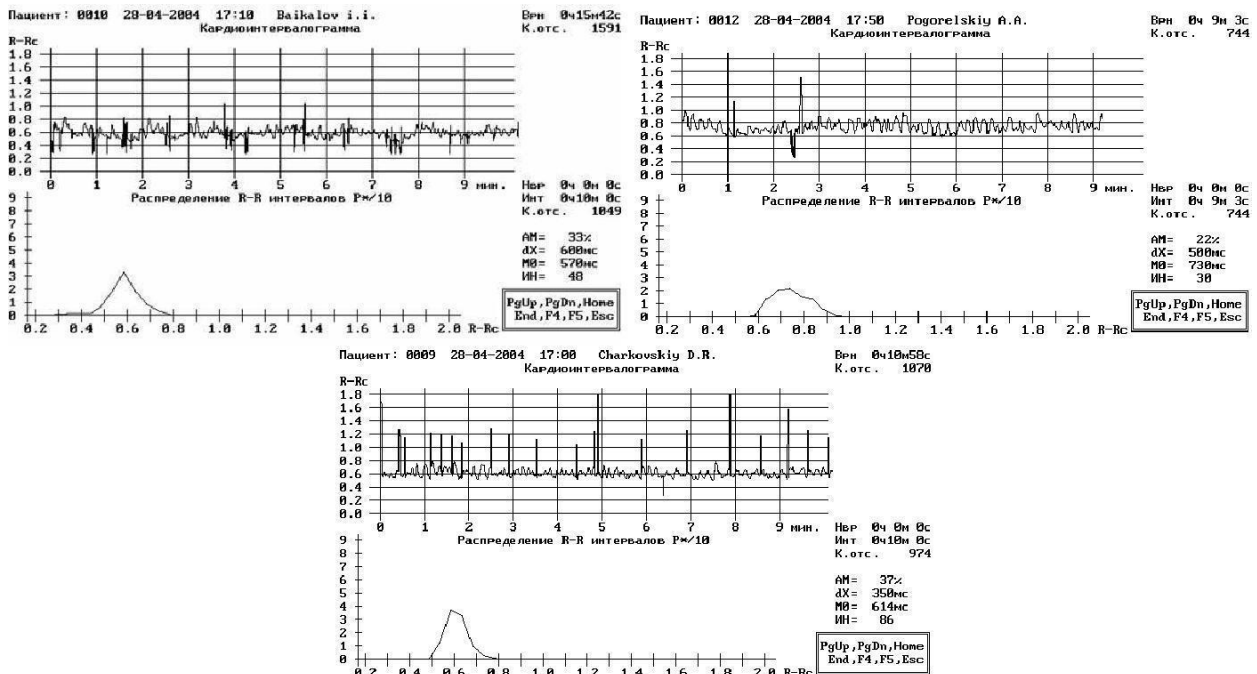


Рис. 5.3.5. Кардиоинтервалограммы и гистограммы КИ испытуемых.

На основании периодограмм, полигонов, гистограмм проводят анализ и делают выводы о качестве работы операторов и их психофизиологических

возможностях. Вычисляется рейтинг испытуемых по сумме рангов 3 оценок (ранг оперативности ответов, ранг точности и ранг психофизиологической напряженности при ответе)

## 6. ХУДОЖЕСТВЕННОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

### 6.1. Композиционные построения и гармонизация частей и целого в конструкции

Композиция (лат. *compositio* - составление, расположение, сочинение) - структура, взаимосвязь важнейших элементов произведения искусства или промышленного изделия, которыми определяется их смысл, выражается замысел. В основе композиции промышленного изделия лежит выбор элементов (или их группы) и их соподчиненности. В качестве элементов используют геометрические, светотеневые, или цветовые свойства формы изделия. Композиция характеризуется категориями, свойствами, средствами [7, 8]. Наиболее общими категориями композиции являются тектоника и объемно-пространственная структура изделия. Главные и второстепенные свойства и качества композиции весьма разнообразны. Их выбор будет определять главное, организующее начало композиции конкретного изделия. При этом кроме знания и учета объективных факторов формообразования изделия, необходимо знание общих закономерностей композиции и средства их выражения, общих подходов к отношениям объемов изделия и пространства. Рассмотрим основные категории композиции: тектонику, объемно - пространственную структуру и их взаимосвязь.

Тектоника - зримое отражение в форме изделия существа его конструкции и организации в нем материала. По существу именно в тектонике выражается связь формы и содержания изделия.

Объемно-пространственная структура – вторая важная категория композиции. Ею определяется взаимодействие, отношение формы (изделия) и пространства. Инженер о втором компоненте объемно-пространственной структуры - пространстве - часто не думает. Дизайнер же не может создать эстетически полноценного изделия без учета пространства. При разработке объемно-пространственной структуры изделия необходимо знать закономерности строения формы, которые облегчают понимание принципа развития форм. Это особенно важно при разработке сложных по объемно - пространственной структуре изделий, в которых должна быть органическая и упорядоченная связь между отдельными элементами. Поэтому при художественно - конструкторской проработке РЭА, в которой используется множество регуляторов и индикаторов, очень важной является группировка элементов в композиционные общности. Композиционные общности должны иметь функциональную внутреннюю связь, которая помогает человеку в работе с изделием и обладает определенной эстетической выразительностью. Между материа-



лом конструкции, ее тектоникой и объемно - пространственной структурой существует взаимосвязь.

Тектоника изделия воспринимается через свойства материала конструкции. Поэтому нельзя пренебрегать свойствами материала, ибо правильное выражение свойств материала создает выразительную тектонику конструкции, а, выразительная тектоника является основой выразительности отношения объемно-пространственной структуры. В свойствах и качествах композиции выделяются следующие показатели изделия: гармоническая целостность формы изделия, соподчиненность элементов, композиционное равновесие элементов, симметрия и асимметрия и их комбинации, динамичность и статичность, единство характера. Современные материалы позволяют создавать прочные и устойчивые конструкции самой необычной формы, которые зрительно представляются весьма неустойчивыми. Задача дизайнера и заключается в том, чтобы создавать придавать зрительную устойчивость изделию. Под симметрией (греч. *οἰκμετρία* - соразмерность) в эстетике понимают гармоничное расположение отдельных частей целого, соразмерность и соответствие между ними.

Простейшие виды симметрии: зеркальная, центральная плоскостная и осевая - широко известны, но в практике художественного конструирования используются редко. Многообразие элементов изделий (в том числе и радиоэлектроники) и правила работы человека с изделием практически не позволяют использовать строго симметричные структуры. Поэтому дизайнеру часто приходится иметь дело с частной асимметрией формы изделия, с асимметричными, но композиционно уравновешенными структурами. Одними из основных способов создания композиционного равновесия являются контраст и нюанс. Контраст - противопоставление элементов структуры по форме, текстуре, цвету, а нюанс - тонкое и взаимосвязанное изменение в композиции.

Не случайно контрастные элементы РЭА в виде разнообразных ручек управления выполняют не черными, а серыми или коричневыми. При их большом количестве такие тона способствуют достижению целостности панели, облегчают психофизиологическую нагрузку оператора при длительной работе оператора с изделием. Если внешнее воздействие контраста резкое и сильное, то нюанс воспринимается гораздо слабее. Однако отсюда нельзя делать вывод о слабости воздействия нюансных отношений (особенно при длительной работе оператора с изделием) и о простоте нюансировки формы.

В отличие от контраста (который часто определяется функциональной компоновкой элементов изделия) нюанс слабо зависит от функциональной компоновки и объемно-пространственной структуры, являясь в основном сферой чисто художественного осмысливания формы и материала изделия. В этом - его богатейшие возможности и причина сложности реализации.

Метрический повтор и ритм определение закономерности повторения различных по контрасту элементов. Если шаг повторов постоянный (или зрительно кажущийся постоянным), то это - метрический повтор. Если шаг по-

второв постепенно меняется, то это - ритмика. Ритм - закономерное изменение порядка структуры элементов. Метрический повтор технологических стыков конструктивных модулей, элементов крепежа, органов управления и контроля, цветовых полей и других подобных структур - характерная особенность РЭА. Именно в РЭА наиболее полно проявляют себя различные виды размерно-параметрических рядов, построенных на едином художественно-конструкторском модуле.

Исходя из того, что при мгновенном наблюдении человек способен воспринять от 3 до 8 характеристик различий, можно принять нижнюю границу метрического повтора примерно в 5-6 элементов. Поэтому на самых начальных этапах разработки РЭА необходима тщательная проработка метрических повторов, которые могут выступить в роли средства гармонизации изделия в целом. К средствам композиции относятся: определяющий композиционный прием, пропорции и масштаб, контраст и нюанс, метрический повтор. При разработке пластики объёмно-пространственной структуры изделия на этапе предварительной (форэскизной) проработки конструкции дизайнер стремится найти образ изделия с помощью прорисовки структуры, состоящей из набора простых геометрических элементов, отражающих тектонику изделия. При этом используется опыт, накопленный поколениями выдающихся художников - рисовальщиков.

Очень поучительны в этом смысле рисунки японского художника К. Хокусая. Он оставил большое художественное наследие. Наряду с огромным количеством блестящих композиционных работ известно много эскизов его жизненных наблюдений, опубликованных в пятнадцати сборниках под общим названием «Манга». Во времена Хокусая слово «манга» обычно означало произвольные наброски, смешанные картины. В «Манга» и других альбомах, картинах и книгах он ставил задачу создания образцов для учеников. В альбоме «Ускоренное руководство по рисованию» изложены принципы упрощения формы, которые тесно связаны и прекрасно передают движение.

Дух анализа пронизывает композиции и рисунки Хокусая. В основе всех форм, по его мнению, лежат геометрические фигуры. Аналитические разборы, помещенные в альбоме, не заслоняют поэтического восприятия природы, не нарушают гармоничности композиции листа в целом и никогда не покидавшего автора чувства пластики. В дизайне такой анализ формы позволяет обеспечить стилевое единство объёмно-пространственной структуры изделия (рис. 6.1.1).

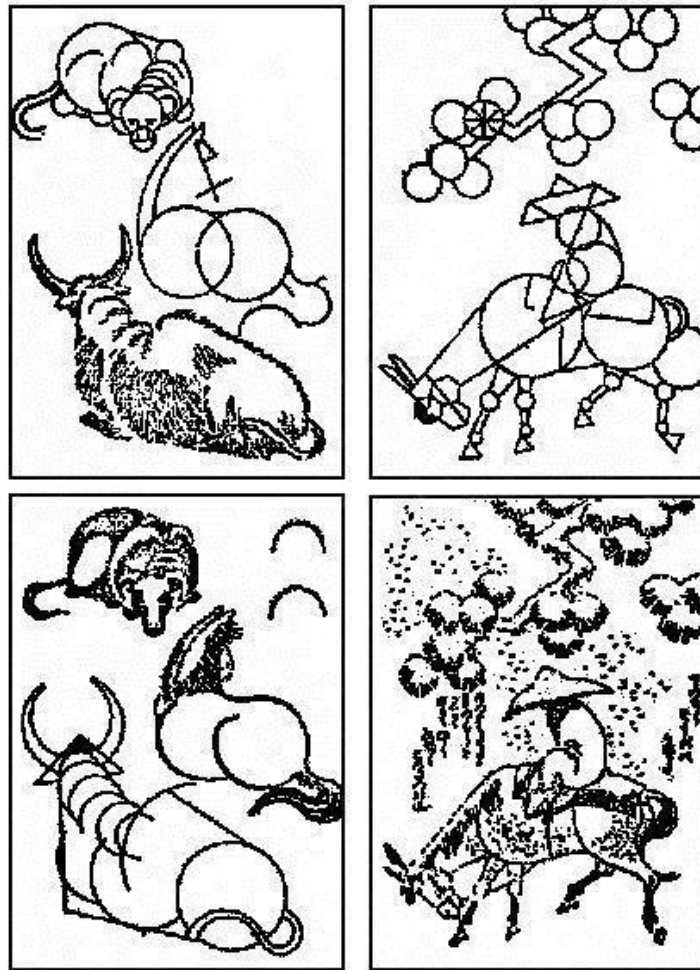


Рис. 6.1.1. Аналитические рисунки «манга» К. Хокусая

После того, как на стадии технического предложения или эскизного проекта определены основные элементы изделия и возможные варианты их компоновки, обеспечивающие заданные технические параметры, дизайнер должен выбрать определяющий композиционный прием, выявить идею композиции изделия, обеспечить единство формообразования как целой конструкции, так и ее частей вплоть до установочных изделий (клавиши, кнопки, индикаторы и т. п.). Зная вариации технической компоновочной схемы, дизайнер создает свои художественно-конструкторские варианты, определяет общую картину формообразования: радиусные лекальные или плоские рубленые формы образующих поверхностей, нюансное или контрастное решение формы, материала, стыки элементов формы и т. п. (рис. 6.1.2). Это позволяет в композиционном проекте воплотить единство средств композиции данного изделия или их группы.

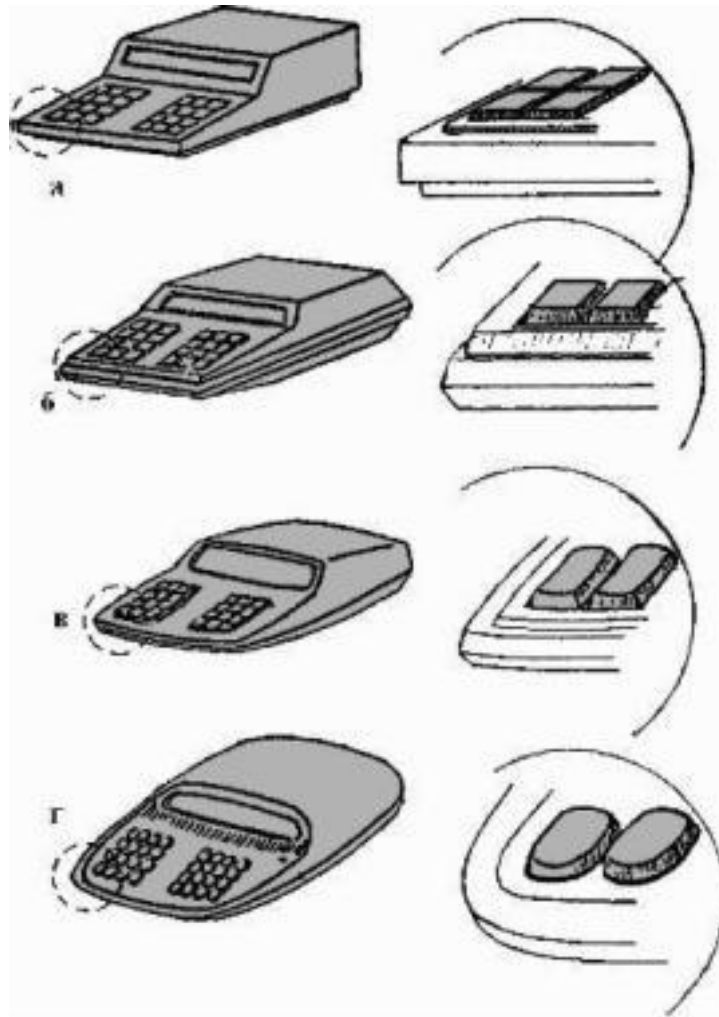


Рис. 6.1.2. Виды формообразования: *а* - плоскопараллельное; *б* – рубленое; *в* - ле-кальное; *г* - овальное или обтекаемое

Пропорции и масштаб - особые по важности средства композиции. Пропорции являются мощным средством гармонизации формы. Часто пытаются использовать канонические соотношения типа «золотое сечение». Однако практический опыт показывает, что дело не только и не сколько в канонических соотношениях, сколько в умении дизайнера гармонизировать сложную форму. Необходимо учитывать два очень важных фактора: 1) восприятие пропорций зависит от характера поверхности формы и ее рисунка, который может сильно изменить зрительное восприятие; 2) пропорционирование должно охватывать все элементы формы в единой системе взаимопроникающих пропорций, обязательно соотносенных с человеком. «золотое сечение» относится к области пропорций, т. е. к связи частей целого друг с другом. Под многочисленными наименованиями «золотого сечения» (числа), «гармонического деления», «божественной пропорции» подразумевается всем известное из школьного курса математики деление отрезка в среднем и крайнем отношениях:

меньший отрезок, а относится к большему  $b$  так же, как больший к их сумме:

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b} . \quad (6.1.1)$$

Решив уравнение (6.1.1), найдем численное значение этой «божественной пропорции»:

$$X = \frac{a}{b} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618 \quad (6.1.2)$$

Вот это-то значение ( $X=0,618$ ) занимало умы огромного числа теоретиков и практиков искусства в течение многих веков.

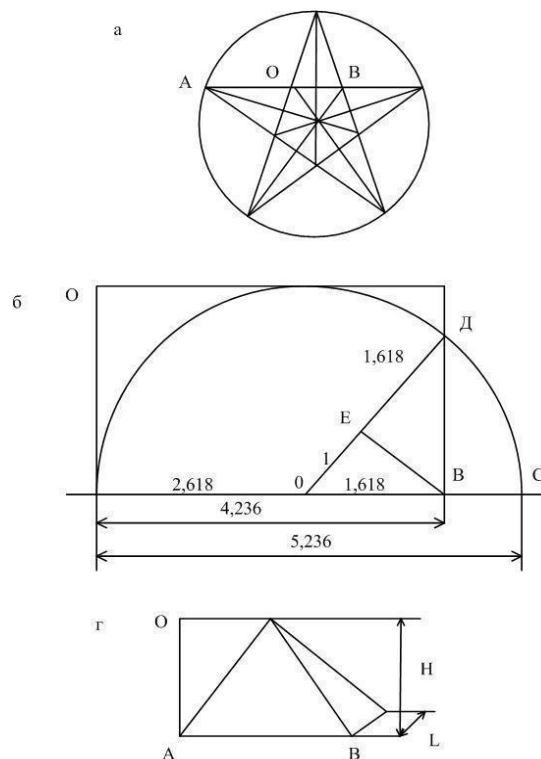


Рис. 6.1.1. Примеры построения «золотого сечения»:  $a$  - звездчатый пятиугольник - эмблема пифагорейцев;  $b$  - геометрическая интерпретация «золотого сечения»;  $c$  - пропорции пирамиды Микерина

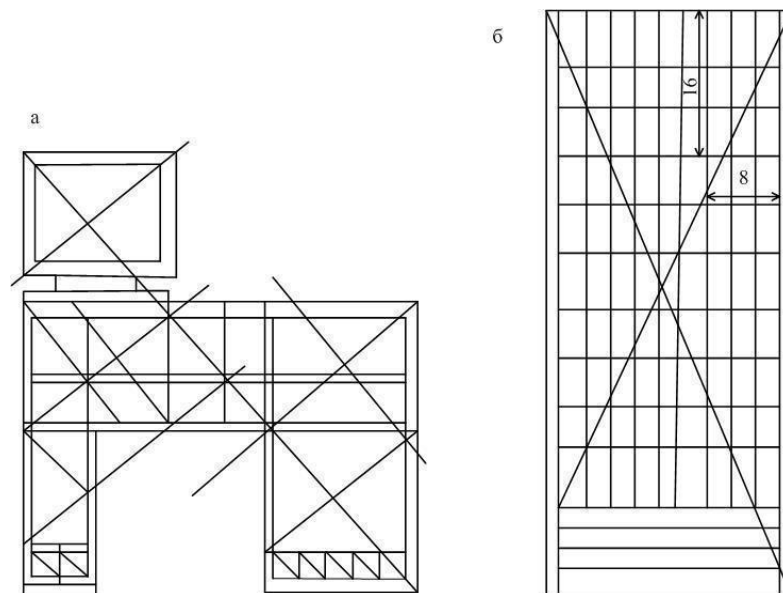


Рис. 6.1.2. Гармонизация формы конструкции РЭА: *а* - методом геометрического подобия; *б* - использованием принципа модульности

Отношению «золотого сечения» уделялось столь большое внимание потому, что объекты, пропорции которых ему отвечают, представлялись большинству людей гармоничными, прекрасными, естественными и т. д., хотя в дизайнерской практике широко применяются и другие отношения при условии сохранения самоподобия частей и целого (рис. 6.1.2).

## 6.2. Лабораторная работа № 6. Художественное конструирование РЭС

**Цель работы:** Освоить навыки построения дизайн-концепции изделия ихудожественно-конструкторского проектирования прибора.

### Выбор темы

Выбор темы производится по следующим направлениям:

- а) в рамках инициативной студенческой работы;
- б) в рамках дипломного проекта;
- в) тема предлагается преподавателем.

### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Разработка проектной концепции дизайна.
  - 1.1. Средовой и ситуационный анализ (согласно разделу 1 в учебном пособии – кто, где и в каких условиях будет использовать данное изделие).
2. Компоновка конструкции гармонизации ее объемно пространственной структуры.

3. Форэскизная компоновка функциональных групп и зон и приведение иерархии их размеров к определенному параметрическому ряду пропорционирование на основе золотого сечения, геометрической прогрессии и арифметической прогрессии. Формирование функциональных зон может производиться следующим декоративными приемами с помощью рамок различных цветовых контрастов и различных фактур (глянцевый, шероховатый, тесненный, фасками, выштампами, окантовками).

4. Выбор формообразующих и стилеобразующих элементов конструкции.

5. Выбор формообразующих и стилеобразующих может быть выполнен как канонических (прямоугольных, рубленых, овальных) образующих и с использованием эллиптики на контрасте основного формообразования и акцентирующих деталей.

6. Выбор конструкционных материалов и технология декоративной отделки.

7. Формирование фирменного стиля.

Разработка конструкции изделия производится с помощью пакета программ *SolidWorks 2001 Plus* или более новыми версиями данного программного обеспечения.

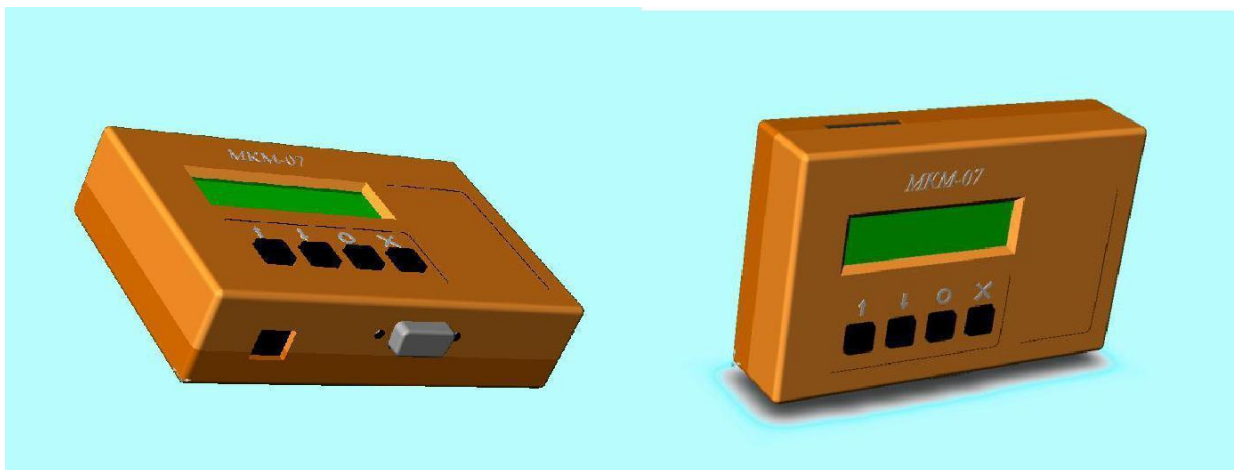


Рис. 6.2.1. Пример построения конструкции с помощью пакета программ *SolidWorks 2001 Plus*

Изделия должны удовлетворять требованиям эргономики и технической эстетики. Рекомендуется использовать ГОСТ 24750 — 81, и ГОСТ 12.3.033 — 84. Размеры шрифта надписей, наносимых на панели управления и сигнализации изделий, должны соответствовать ГОСТ 2930 — 62 или ГОСТ 26.020 — 80.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная задача пособия – привить студентам навыки выполнения конструкторских работ, оказать им помощь в решении технических задач по конструированию РЭА, научить их пользоваться стандартами и в первую очередь стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), неразрывно связанной с Единой системой технологической документации (ЕСТД) и единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Проектирование жизнеспособных электронных средств и систем на основе современных методов построения конструкций РЭС, освоение современных методик проектирования эффективных РЭС, обеспечивающих высокий уровень технических и эксплуатационных характеристик и технологичности РЭС, систематизация, закрепление и расширение полученных теоретических знаний, приобретение практических навыков создания, расчета и конструирования РЭА в соответствии с действующими стандартами помогут будущему инженеру в самостоятельном проектировании РЭС и при выполнении дипломного проекта, и в реальной производственной деятельности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для радиотехнических спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
2. Партала О.Н. Радиокомпоненты и материалы. М. – КУБК-а, 1998.
3. Акимов Н.Н. Справочник: Резисторы. Конденсаторы. Трансформаторы. Дроссели. Коммутационные устройства. РЭА./Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренко// Минск: Беларусь, 1994.
4. Сарафанов А.В. Основы проектирования электронных средств: Техническое задание, формирование и анализ: Учебное пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов// Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005.
5. Князев, А. Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А. Д. Князев, Л. Н. Кечнев, Б. В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 222 с.
6. Объемный и печатный монтаж в РЭС. Электромагнитная совместимость: метод. указания к лабораторным работам / Сост. Г. М. Алдонин, А.А. Левицкий; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 1996. – 40 с.
7. Алдонин, Г. М. Радиоконструктору о дизайне / Г. М. Алдонин, И. Р. Аринкин. Краснояр. политехн. ин-т. – Красноярск: 1991. – 116 с.
8. Основы художественного конструирования и эргономики: метод. указания к лабораторным работам / Сост. Г. М. Алдонин; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 33 с.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЛМ	– автоматизированный лабораторный макет
АЛП	– автоматизированный лабораторный практикум
АЛП УД	– автоматизированный лабораторный практикум с удаленным доступом
АМП	– аналоговый мультиплексор
АПК	– аппаратно-программный комплекс
АПК УД	– аппаратно-программный комплекс с удаленным доступом
АССОД	– автоматизированную систему сбора и обработки данных
АЦП	– аналогово-цифровой преобразователь
БЗУ	– буферное запоминающее устройство
ВАХ	– вольт-амперная характеристика
ИО	– исследуемый объект
ИЭТР	– интерактивное электронное техническое руководство
ОМ	– объектный модуль
ПА	– программируемый аттенюатор
ПО	– программное обеспечение
ПК	– персональный компьютер
ПЛИС	– программная логическая интегральная схема
ПУ	– программируемый усилитель
РД	– регистр данных
РЭС	– радиоэлектронные средства
РЭА	– радиоэлектронная аппаратура
ПЭВМ	– персональная электронно-вычислительная машина
УВХ	– устройство выборки-хранения
УСД	– устройство сбора данных
ФНЧ	– фильтр низких частот
ЦАП	– цифровой аналоговый преобразователь
ЦКП	– центр коллективного пользования
ЦУ	– цифровое устройство
ЭДС	– электродвижущая сила
API	– <i>Application Programming Interface</i> – набор методов (функций), который программист может использовать для доступа к функциональности программной компоненты (программы, модуля, библиотеки)
CAM	– <i>Computer Aided Manufacturing</i> – компьютерная поддержка производства изделий
CASE	– <i>Computer Aided Software Engineering</i> – компьютерная под-

	держка разработки программных средств
<i>DAQms</i>	– последняя версия драйвера <i>NI-DAQ</i> с новыми функциями и инструментами для управления измерительными устройствами
<i>DataSocket</i>	– протокол обмена, поддерживаемый <i>LabVIEW</i> , для совместного использования динамически меняемых данных
<i>DVD</i>	– <i>Digital Versatile Disc</i> –цифровой многоцелевой диск.Носитель информации в виде диска, внешне схожий с компакт-диском, однако имеющий возможность хранить бо льший объём информации за счёт использования лазера с меньшей длиной волны, чем для обычных компакт дисков
<i>LabVIEW</i>	– <i>Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench</i> – это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования "G" фирмы <i>National Instruments</i> (США))
<i>NI</i>	– <i>National Instruments</i>
<i>PXI</i>	– <i>Compact PCI Extension For Instrumentation</i> – расширение шины <i>Compact PCI</i> для использования в инструментальных системах (модульная аппаратная платформа, активно использующая возможности шины <i>Compact PCI</i> (модификация шины <i>PCT</i> ) и программных технологий <i>Microsoft Windows</i> )
<i>TCP</i>	– <i>Transport Control Protocol</i> –транспортный протокол
<i>IP</i>	– <i>Internet Protocol</i> – Интернет-протокол
<i>USB</i>	– <i>Universal Serial Bus</i> –универсальная последовательная шина, предназначенная для периферийных устройств. Шина <i>USB</i> представляет собой последовательный интерфейс передачи данных для среднескоростных и низкоскоростных периферийных устройств

## Приложение 2

Таблица П.2.1

Среднестатистические значения интенсивности отказов комплектующих изделий,  
применяемых в изделиях

Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$
Резисторы		K50-3	13,23	Д220	0,017
Резисторы постоянные		K50-31	0,50	Д223	0,020
BC-0,125	0,02	K50-35	0,08	Д226	0,411
BC-0,25	0,04	K50-6	0,14	ЛУ42	0,001
BC-0,5	0,13	K50-7	3,59	Д9	0,030
BC-1,0	0,31	K53-19	0,03	КД103	0,001
BC-2,0	0,04	Конденсаторы неэлектролитические		КД105	0,165
КЭВ	0,06			КД109	0,480
МЛТ-0,125	0,04	БМ	0,02	КД121	0,001
МЛТ-0,25	0,03	БМТ	0,04	КД122	0,001
МЛТ-0,5	0,11	КВИ	0,07	КД202	0,103
МЛТ-1,0	0,17	КД-1	0,01	КД205	1,639
МЛТ-2,0	0,10	КД-2	0,01	КД208	0,230
МОН-0,5	0,01	КМ-4	0,01	КД2091	1,843
МОН-1,0	0,65	КМ-5	0,20	КД212	0,210
ПЭВ	0,57	КМ-6	0,07	КД213	0,071
P1-7	0,08	КПК-МП	0,01	КД221	0,080
СМ-0,125	0,01	КСО	0,26	КД226	0,238
С1-4-0,25	0,04	КС-2А	0,03	КД409	0,061
С3-14	0,01	КТ-1	0,04	КД410	0,099
С5-35	0,19	КТ-2	0,06	КД411	0,405
ТВО	0,09	КТ-4	0,01	КД503	0,001
УЛМ	0,06	КТЗ-13	0,01	КД504	0,001
Резисторы переменные		КТ4-23	0,01	КД510А	0,061
НР 1-9	0,19	КТ5-5	0,01	КД512	0,001
СП-0,4	0,02	К10-Ю1	0,01	КД521	0,057
СП-0,5	0,16	К10-18	0,01	КД522	0,029
СПЗ-1	0,02	К10-19	0,01	Стабилитроны	
СПЗ-23	0,01	К10-29	0,01	Д802	0,001
СПЗ-24	0,01	К10-38	0,01	Д809	0,031
СПЗ-27	0,19	К10-7В	0,01	Д814	0,814
СПЗ-29	0,49	К10П-4	0,04	Д815	0,030
СГО-30	0,02	К15-4	0,35	Д817	Д.690
СПЗ-36	0,05	К 15-5	0,03	Д818	0,137
СПЗ-38	0,07	К21-7	0,01	КС 133	0,001
СПЗ-4	0,11	К21-9	0,02	КС147	0,001
СПЗ-42	0,01	К22-5	0,01	КС 156	0,220
СП5-28	0,01	К26-1	0,01	КС 168	0,107
СП5-50	0,03	КЗ 1-11	0,13	КС 170	0,001
Терморезисторы		К42-11	0,01	КС 175	0,001
КМТ	0,01	К71-7	0,01	КС182	0,204

ММТ	0,01	К73-11	0,01	КС191А	0,001
СТ1-17	0,01	К73-13	0,13	КС210	0,001
СТ15-2	0,03	К73-15	0,03	КС213	0,001
СТ3-17	0,01	К73-17	0,03	КС512	0,001
СТ3-23	0,01	К73-21	0,01	КС518	0,001
Варисторы		К73-5	0,01	КС520	0,001
СН1-1	0,06	К73-9	0,02	КС531	0,270
СН1-14	0,57	К78-2	0,07	КС680	0,063
СН1-16	0,07	МБГО	0,01	Варикапы	
СН1-1	0,01	СГМ	0,18	Д902	0,130
Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ л/ч}$	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ л/ч}$	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6} \text{ л/ч}$
Конденсаторы		МБМ	0,03	КВ109	0,008
Конденсаторы электролитические		Полупроводниковые приборы		КВ121	0,006
К50-12	0,12	АЛ307	0,021	КВ122	0,001
К50-16	0,14	Д104	0,001	—	—
К50-19	0,02	Д106	0,001	—	—
К50-20	0,01	Д2	0,055	—	—
К50-24	0,21	Д20	0,153	—	—
К50-26	0,06	Д202	0,001	—	—
К50-28	0,01	Д221	0,003	—	—
Транзисторы		Селеновые выпрямители и ограничители		ТВС-70П2	6,592
ГТ346	0,300			ТВС-70П3	0,754
ГТ905	2,470	ВТ-18-0.2	9992	ТВС-90П4	1,132
КП103Ж	0,001	ОСТ-9	0,073	ТВС-90ЛЦ5	3,695
КТ117	0,441	5ГЕ40АФ	0,189	ТВС-90ПЦ10	0,719
КТ205	0,909	5ГЕ140Ф	0,001	ТВС-90ПЦ11	2021
КТ209	0,418	5ГЕ200АФС	0,058	Трансформаторы выходные кадровой развертки	
КТ3102	0,043	Интегральные микросхемы			
КТ3107	0,341	К155ИД1	1,519	ТВК-110ЛА	4,327
КТ3109	0,380	К155ИЕ9	0,001	ТВК-110ЛМ	0,934
КТ3126	0,820	К155ЛА3	0,561	ТВК-110Л2	1,941
КТ3127	1,020	К155ЛА8	0,072	ТВК-70Л2	3,876
КТ3128	0,331	К155ТВ1	0,001	ТВК-90ЛЦ5	0,256
КТ315	0,326	К155ТМ1	0,070	ТВК-90ПЦ4	0,309
КТ326	0,750	К155ТМ2	0,410	ТВК-90ПЦ5	0,176
КТ339	0,944	К174АФ1А	3,786	ТВК-90П2	0,302
КТ342	0,070	К174АФ4А	5,502	Трансформаторы питания	
КТ346	0,001	К174АФ5	11,865	ТПИ-3	0,233
КТ361	0,219	К174ГФ1	8,698	ТПИ-4-3	0,057
КТ363	0,440	К174УК1	0,189	ТПИ-5	0,711
КТ368	0,190	К174УН7	5,840	ТС-14-2	0,001
КТ502	0,754	К174УП1	2,750	ТС-160	1,110
КТ503	0,193	К174УР1	1,571	ТС-180	2,146
КТ601	0,410	К174УР2Б	5,066	ТС-250	0,144

КТ602	0,550	К174УР5	0,669	ТС-80	0,001
КТ603	0,196	К174ХА11	0,900	ТС-90	0,001
КТ604	1,340	К174ХА8	0,446	ТСШ-170	0,677
КТ605	0,171	К174ХА9	0,779	ФИТ-1	0,174
КТ611	1,060	К174УН4Б	2,768	Трансформаторы согласо- вания, низкочастотные	
КТ630	0,001	К224УК1А	2,765		
КТ642	0,001	К224ТП1	1,113	ТВЗ-Ш	0,781
КТ645	0,457	К224УП1	1,205	ТВЗ-1-1	0,703
КТ801	2,690	К224УП2	1,566	ТВЗ-1-9	1,280
КТ803	3,692	К224УР2	0,551	ТВЗ-3А	0,211
КТ805БМ	2,633	К224УР3	0,001	Трансформаторы переходные и межкаскадные	
КТ812	4,490	К224УР4	0,897		
КТ814	2,146	К224ХА3	52,098	ТПС-10	0,471
КТ815	2,320	К224ХК3	19,910	ТПС-51ПЦ	0,001
КТ817	0,850	К224ХП1	4,984	ТПС3-П23	0,001
КТ828	15,102	К416КН1	11,289	ТМС-10	0,283
КТ829	0,639	К421КН1	0,480	ТМС-20	0,001
КТ835	3,974	Микросборки		ТМС-21	0,258
КТ837	0,632	К04АФ002	0,993	Отклоняющие системы	
КТ838	5,873	К04КП020	1,739	ОС-1 ЮЛА	0,688
КТ940	1,208	К04ФЕ001-01	0,652	ОС-110-Л1	1,022
КТ961	0,750	К04ФЕОО3	0,001	ОС-70	0,184
КТ969А	0,321	К04УР029	6,757	ОС-70П4	0,001
МГТ108	0,001	К04УРО30	5,310	ОС-90,29ПЦ17	0,001
Наименова- ние и тип из- делия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6}$ 1/ч	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6}$ 1/ч	Наименование и тип изделия	$\lambda_{\text{ср.ст.}} \cdot 10^{-6}$ 1/ч
МП25	0,406	К04ХА026	9,982	ОС-90.33ПЦ12	0,175
МП42	0,134	К04ХК007	10,866	ОС-90ЛЦ2	1,048
П213	0,401	К04ХП(№6	5,899	ОС-90ПЦ10	1,137
П214	0,199	УПЧ8-1М	2,288	ОС- 90.29ГЦ32	0,001
П215	3,011	Моточные изделия и прочие узлы		ОС-90П4	0,001
Тиристоры				Регуляторы линейные	
КУ112	1,602	Трансформаторы выходные строчной развертки		РЛС-1	0,240
КУ202	0,940			РЛС-1 ЮЛА	0,110
КУ221	2,749	ТВС-110Л4	4,860	РЛС-110Л1	0,105
Кремниевые выпрямитель- ные столбцы и блоки		ТВС-110Л6	6,432	РЛС-110П4	0,001
		ТВС-110ПЦ15	1,152	РЛС-90П1	0,001
КЦ106	0,001	ТВС-110ПЦ16	1,732	РЛС-4	0,161
Ц109А	12,440	ТВС-110ПЦ18	1,810	—	—
КЦ405	1,172	ТВС-1ЮП3	0,720	—	—
—	—	ТВС-70АМ	3,691	—	—

Таблица П.4

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для полиэтилентерефталатных конденсаторов

$t_{\text{окр}}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$
------------------	--

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,33	0,46	0,55	0,65	0,72	0,78	0,85	0,90	0,94	1,00
30	0,42	0,61	0,74	0,85	0,94	1,08	1,09	1,16	1,24	1,29
40	0,55	0,77	0,94	1,07	1,20	1,29	1,41	1,50	1,57	1,66
50	0,70	0,98	1,18	1,35	1,52	1,64	1,78	1,88	2,00	2,09
60	0,87	1,22	1,48	1,70	1,86	2,05	2,20	2,35	2,48	2,60
70	1,07	1,50	1,81	2,07	2,31	2,52	2,70	2,89	3,05	3,20
80	1,31	1,81	2,20	2,52	2,79	3,05	3,27	3,50	3,70	3,88

Таблица П.5

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для фторопластовых конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,30	0,44	0,54	0,62	0,71	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00
30	0,33	0,53	0,65	0,75	0,84	0,92	0,99	1,07	1,13	1,19
40	0,45	0,66	0,77	0,89	0,99	1,10	1,18	1,27	1,34	1,42
50	0,53	0,74	0,90	1,06	1,18	1,28	1,39	1,48	1,57	1,66
60	0,60	0,86	1,06	1,22	1,36	1,49	1,61	1,72	1,83	1,93
70	0,71	0,99	1,22	1,40	1,57	1,72	1,86	1,99	2,11	2,22
80	0,80	1,15	1,39	1,61	1,80	1,96	2,13	2,28	2,42	2,55

Таблица П.6

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для полистирольных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,08	0,11	0,18	0,28	0,39	0,55	0,61	0,73	0,85	1,00
30	0,06	0,14	0,26	0,37	0,51	0,67	0,81	0,98	1,15	1,32
40	0,08	0,19	0,34	0,50	0,67	0,86	1,07	1,28	1,51	1,73
50	0,09	0,25	0,44	0,64	0,87	1,12	1,37	1,65	1,98	2,23
60	0,12	0,31	0,55	0,81	1,11	1,42	1,75	2,09	2,45	2,84
70	0,15	0,39	0,69	1,01	1,36	1,76	2,18	2,62	3,07	3,54
80	0,19	0,48	0,86	1,26	1,70	2,18	2,70	3,23	3,79	4,37

Таблица П.7

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для металлопленочных и комбинированных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,05	0,11	0,20	0,27	0,41	0,47	0,55	0,71	0,80	0,90	1,00
30	0,06	0,12	0,21	0,28	0,41	0,51	0,61	0,77	0,90	0,98	1,15
40	0,08	0,13	0,23	0,29	0,42	0,55	0,68	0,86	1,00	1,20	1,40
50	0,10	0,16	0,25	0,32	0,45	0,62	0,78	1,00	1,40	1,70	1,95

60	0,12	0,18	0,28	0,37	0,51	0,71	1,00	1,45	1,95	2,45	3,35
70	0,15	0,22	0,33	0,44	0,60	0,83	1,40	2,10	2,80	3,60	5,70
80	0,27	0,33	0,38	0,55	0,80	1,25	1,70	2,70	3,70	5,25	—

Таблица П.8

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для постоянных непроволочных металло- пленочных и металлоокисных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,12	0,15	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	0,84	1,00
30	0,18	0,21	0,27	0,34	0,43	0,51	0,60	0,75	0,88	1,07	1,26
40	0,25	0,27	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,38	1,71
50	0,31	0,37	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38	1,76	2,22
60	0,37	0,40	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70	2,17	2,81
70	0,43	0,46	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52
80	0,50	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52	4,40

Таблица П.9

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для полиэтилентерфталатных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,33	0,46	0,55	0,65	0,72	0,78	0,85	0,90	0,94	1,00
30	0,42	0,61	0,74	0,85	0,94	1,08	1,09	1,16	1,24	1,29
40	0,55	0,77	0,94	1,07	1,20	1,29	1,41	1,50	1,57	1,66
50	0,70	0,98	1,18	1,35	1,52	1,64	1,78	1,88	2,00	2,09
60	0,87	1,22	1,48	1,70	1,86	2,05	2,20	2,35	2,48	2,60
70	1,07	1,50	1,81	2,07	2,31	2,52	2,70	2,89	3,05	3,20
80	1,31	1,81	2,20	2,52	2,79	3,05	3,27	3,50	3,70	3,88

Таблица П.10

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для фторопластовых конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,30	0,44	0,54	0,62	0,71	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00
30	0,33	0,53	0,65	0,75	0,84	0,92	0,99	1,07	1,13	1,19
40	0,45	0,66	0,77	0,89	0,99	1,10	1,18	1,27	1,34	1,42
50	0,53	0,74	0,90	1,06	1,18	1,28	1,39	1,48	1,57	1,66
60	0,60	0,86	1,06	1,22	1,36	1,49	1,61	1,72	1,83	1,93
70	0,71	0,99	1,22	1,40	1,57	1,72	1,86	1,99	2,11	2,22
80	0,80	1,15	1,39	1,61	1,80	1,96	2,13	2,28	2,42	2,55

Таблица 5.11

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для полистирольных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$
-----------	--

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,08	0,11	0,18	0,28	0,39	0,55	0,61	0,73	0,85	1,00
30	0,06	0,14	0,26	0,37	0,51	0,67	0,81	0,98	1,15	1,32
40	0,08	0,19	0,34	0,50	0,67	0,86	1,07	1,28	1,51	1,73
50	0,09	0,25	0,44	0,64	0,87	1,12	1,37	1,65	1,98	2,23
60	0,12	0,31	0,55	0,81	1,11	1,42	1,75	2,09	2,45	2,84
70	0,15	0,39	0,69	1,01	1,36	1,76	2,18	2,62	3,07	3,54
80	0,19	0,48	0,86	1,26	1,70	2,18	2,70	3,23	3,79	4,37

Таблица 5.12

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для металлопленочных и комбинированных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,05	0,11	0,20	0,27	0,41	0,47	0,55	0,71	0,80	0,90	1,00
30	0,06	0,12	0,21	0,28	0,41	0,51	0,61	0,77	0,90	0,98	1,15
40	0,08	0,13	0,23	0,29	0,42	0,55	0,68	0,86	1,00	1,20	1,40
50	0,10	0,16	0,25	0,32	0,45	0,62	0,78	1,00	1,40	1,70	1,95
60	0,12	0,18	0,28	0,37	0,51	0,71	1,00	1,45	1,95	2,45	3,35
70	0,15	0,22	0,33	0,44	0,60	0,83	1,40	2,10	2,80	3,60	5,70
80	0,27	0,33	0,38	0,55	0,80	1,25	1,70	2,70	3,70	5,25	—

Таблица 5.13

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для постоянных непроволочных металлопленочных и металлоокисных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,12	0,15	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	0,84	1,00
30	0,18	0,21	0,27	0,34	0,43	0,51	0,60	0,75	0,88	1,07	1,26
40	0,25	0,27	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,38	1,71
50	0,31	0,37	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38	1,76	2,22
60	0,37	0,40	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70	2,17	2,81
70	0,43	0,46	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52
80	0,50	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52	4,40

Таблица 5.14

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для керамических конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,13	0,23	0,38	0,52	0,76	1,00
30	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09	0,16	0,29	0,42	0,61	0,88	1,17
40	0,25	0,04	0,05	0,07	0,10	0,18	0,33	0,46	0,69	0,89	1,36
50	0,03	0,04	0,05	0,07	0,12	0,20	0,38	0,52	0,78	1,13	1,54
60	0,04	0,05	0,06	0,08	0,13	0,23	0,42	0,61	0,89	1,30	1,74
70	0,05	0,06	0,07	0,09	0,14	0,29	0,48	0,70	1,03	1,52	2,00
80	0,06	0,07	0,08	0,10	0,16	0,38	0,56	0,80	1,19	1,77	2,00

Таблица 5.15



Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для электролитических конденсаторов (кроме танталовых)

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,80	0,66	0,50	0,40	0,50	0,66	0,80	0,84	1,00
30	0,94	0,82	0,66	0,50	0,66	0,82	0,94	1,15	1,40
40	1,40	1,10	0,88	0,68	0,88	1,10	1,40	1,75	2,00
50	2,20	1,75	1,45	1,10	1,45	1,75	2,20	2,70	3,20
60	3,40	2,75	2,15	1,90	2,15	2,75	3,45	4,40	5,40
70	5,70	4,40	3,70	3,00	3,70	4,40	5,70	7,75	—
80	9,00	7,00	5,70	4,60	5,70	7,00	9,00	—	—
90	—	—	8,00	6,70	8,00	—	—	—	—
100	—	—	—	9,00	—	—	—	—	—

Таблица 5.16

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для бумажных и металлобумажных конденсаторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,08	0,11	0,20	0,27	0,41	0,47	0,55	0,71	0,80	0,90	1,00
30	0,09	0,12	0,21	0,28	0,41	0,51	0,61	0,77	0,90	0,98	1,15
40	0,10	0,13	0,23	0,29	0,42	0,52	0,68	0,86	0,99	1,20	1,40
50	0,12	0,16	0,25	0,32	0,45	0,62	0,78	1,00	1,40	1,70	1,95
60	0,14	0,18	0,28	0,37	0,51	0,71	1,00	1,45	1,95	2,45	3,35
70	0,18	0,22	0,33	0,44	0,70	0,83	1,43	2,10	2,80	3,60	5,70
80	0,32	0,33	0,44	0,55	0,80	1,25	1,70	2,70	3,70	5,25	—

Таблица 5.17

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для слюдяных конденсаторов (кроме КСОТ и К31У-3Е)

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,015	0,03	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
30	0,025	0,05	0,10	0,12	0,18	0,22	0,28	0,36	0,50	0,80	1,40
40	0,040	0,08	0,11	0,19	0,25	0,30	0,32	0,45	0,60	1,00	1,60
50	0,065	0,11	0,18	0,25	0,32	0,38	0,45	0,48	0,72	1,25	2,00
60	0,16	0,20	0,25	0,33	0,45	0,50	0,60	0,70	0,90	1,28	2,60
70	0,23	0,30	0,38	0,50	0,60	0,70	0,90	1,20	1,50	2,50	4,00
80	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10	1,40	1,60	2,20	3,60	6,00
90	0,44	0,60	0,80	1,00	1,40	1,60	2,00	2,50	3,20	5,50	—
100	0,70	1,00	1,25	1,50	1,80	2,20	2,60	3,50	5,20	—	—

Таблица 5.18

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для пленочных композиционных (подстроечных) резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,15	0,20	0,30	0,45	0,60	0,75	0,80	0,90	0,98	1,00
30	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,00	1,10	1,15	1,20
40	0,35	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,30	1,55	1,65	1,80
50	0,80	1,00	1,15	1,30	1,50	1,60	1,70	1,90	2,20	2,80
60	1,30	1,50	1,70	1,90	2,50	2,80	3,00	3,50	4,00	5,00
70	1,80	2,50	2,70	3,20	4,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
80	2,50	3,00	4,00	4,50	6,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,5

Таблица 5.19

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для объемных композиционных переменных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00
30	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,65	0,75	0,90	1,00	1,10
40	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,75	1,00	1,15	1,20	1,20
50	0,50	0,55	0,60	0,65	0,75	1,00	1,15	1,20	1,25	1,30
60	0,70	0,80	0,85	0,90	1,00	1,20	1,25	1,28	1,30	1,40
70	0,90	0,95	1,00	1,10	1,30	1,40	1,45	1,50	0,55	1,60
80	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,55	1,65	0,75	1,80
90	1,20	1,50	1,80	2,00	2,20	2,50	2,80	3,00	3,20	3,50
100	1,80	2,00	2,20	2,70	3,00	3,30	3,80	4,20	4,50	5,00

Таблица 5.20

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для постоянных непроволочных пленоч-ных углеродных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,33	0,34	0,36	0,40	0,43	0,46	0,52	0,60	0,65	0,8	1,00
30	0,34	0,35	0,39	0,43	0,46	0,53	0,60	0,68	0,75	0,94	1,40
40	0,36	0,38	0,42	0,48	0,52	0,61	0,70	0,80	0,86	1,35	1,95
50	0,44	0,46	0,48	0,54	0,60	0,72	0,82	0,92	1,00	1,90	2,25
60	0,46	0,47	0,52	0,62	0,71	0,85	0,98	1,20	1,60	2,75	5,15
70	0,50	0,54	0,60	0,72	0,84	1,00	1,45	1,90	2,50	4,20	8,00
80	0,56	0,62	0,72	0,84	1,00	1,45	1,90	2,50	4,20	8,00	—
90	0,62	0,71	0,85	1,00	1,45	2,00	3,30	6,60	8,00	—	—
100	0,72	0,82	1,00	1,50	2,00	3,30	5,00	8,00	—	—	—

Таблица 5.21

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для постоянных непроволочных композиционных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,73	0,75	0,78	0,79	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	1,0
30	0,74	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,02	1,03	1,11	1,14

40	0,76	0,80	0,84	0,91	0,98	1,02	1,06	1,14	1,22	1,29	1,36
50	0,79	0,84	0,92	1,01	1,10	1,15	1,20	1,32	1,40	1,54	1,68
60	0,85	0,90	1,00	1,10	1,20	1,27	1,34	1,48	1,62	1,81	1,99
70	0,96	1,00	1,08	1,21	1,34	1,43	1,50	1,68	1,86	2,18	2,50
80	1,07	1,10	1,20	1,35	1,50	1,60	1,68	1,90	2,10	2,50	3,30
90	1,12	1,22	1,36	1,54	1,66	1,72	1,97	2,25	2,67	3,60	4,00

Таблица 5.22

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для проволочных постоянных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,23	0,44	0,75	1,00
30	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,17	0,24	0,40	0,62	0,88	1,15
40	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,25	0,39	0,58	0,82	1,08	1,37
50	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,34	0,53	0,76	1,03	1,30	1,61
60	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34	0,43	0,67	0,95	1,25	1,54	1,80
70	0,29	0,31	0,34	0,37	0,40	0,51	0,81	1,15	1,48	1,74	1,80
80	0,32	0,34	0,37	0,40	0,45	0,63	0,90	1,30	1,62	1,80	—
90	0,36	0,40	0,47	0,54	0,60	0,70	1,15	1,50	1,80	—	—

Таблица 5.23

Значения поправочного коэффициента  $\alpha$  для проволочных переменных резисторов

$t_{окр}$	Поправочный коэффициент $\alpha$ при $K_n$										
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,06	0,07	0,10	0,13	0,17	0,23	0,31	0,41	0,59	0,80	1,00
30	0,07	0,08	0,11	0,14	0,19	0,25	0,34	0,45	0,65	0,86	1,07
40	0,08	0,09	0,12	0,15	0,20	0,27	0,38	0,50	0,69	0,91	1,14
50	0,09	0,10	0,13	0,16	0,22	0,30	0,41	0,55	0,73	0,97	1,20
60	0,10	0,11	0,14	0,17	0,24	0,32	0,44	0,60	0,78	1,02	1,26
70	0,11	0,12	0,16	0,19	0,25	0,34	0,48	0,64	0,83	1,07	1,33
80	0,11	0,13	0,18	0,22	0,27	0,36	0,50	0,68	0,88	1,12	1,40
90	0,12	0,15	0,20	0,24	0,29	0,38	0,52	0,72	0,93	1,17	1,45

Значение поправочного коэффициента  $K=\lambda/\lambda_0$  для элементов РЭС в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Поправочный коэффициент
Лабораторные и благоустроенные помещения	1,0
Стационарные наземные устройства	10...20
Защитные отсеки кораблей	17...40
Автоприцеп	25...50
Железнодорожная платформа	40...60
Самолет	100...150
Управляемый снаряд	300...350
Ракета	700...1000

Примечание:

 $\lambda$  – интенсивность отказов элемента при эксплуатации, 1/ч;  $\lambda_0$  – интенсивность отказов элемента в лабораторных условиях, 1/ч.

## Некоторые справочные данные, используемые при конструировании РЭС

Таблица П.1

Допустимые напряжения (В) между проводниками печатных плат

Расстояние между проводниками, мм	Гетинакс	Стекло-текстолит	Расстояние между проводниками, мм	Гетинакс	Стеклотекстолит
0,15	-	20	0,7	150	150
0,2	-	25	0,8	175	175
0,25	30	30	0,9	200	200
0,3	50	50	1,0	250	250
0,4	75	75	1,2	300	300
0,5	100	100	1,5	400	400
0,6	125	125	2,5	450	500

Примечания:  
 1. На внутренние слои многослойных печатных плат (МПП) подавать напряжение более 250В не рекомендуется.  
 2. Гетинакс в герметичных РЭС не используется.

Таблица П.2

Относительная диэлектрическая проницаемость некоторых материалов

Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$
Фторопласт-4 (тефлон)	2...2,1	Стеклотекстолит	4...6
Полиэтилен	2,2...2,3	Анодное покрытие алюминия	6...7
Полистирол	2,55	Поликор(99,8% $Al_2O_3$ )	9...10
Полисульфон	3,1	Брокерит(99,7% $Be_2O_4$ )	6,3...6,5
Лавсан	3,1	Керамика 22ХС(96% $Al_2O_3$ )	8,5...9,5
Винипласт (поливинил - хлорид)	3,0...3,5	Ситалл СТ-50-1	6...8,5
Полиэфирсульфон	3,5	Ситалл КП-10	10
Полиимид	3,5	Кремний	11,7
Эпоксиды	3,5...4	Арсенид галлия	13,3
Силиконы	3,5...4,2	Ферриты	9...14
Полиуретаны	3,5...4		

Таблица П.3

Погонная емкость печатных проводников (пФ/см), расположенных друг под другом на соседних слоях, для диэлектрической проницаемости платы  $\epsilon_{пл} = 6 \pm 10\%$

Ширина проводника, мм	ДПП толщиной 1,5	МПП толщиной слоев, мм		
		0,15	0,25	0,5

0,2	0,54	1,4	1,05	0,75
0,3	0,6	1,86	1,35	0,78
0,5	0,72	2,55	1,86	1,2
1,0	0,96	-	2,76	1,86
2,0	1,6	-	-	2,76
5,0	2,6	-	-	-

Таблица П.4

## Допустимая индуктивность (мкГн) шин заземления

Серия ИС	Импульсный скачок тока в земляной шине				
	200	160	120	90	60
115	0,33	0,55	-	-	-
130	-	-	0,04	0,54	-
133	-	-	0,04	0,54	-
155	0,10	0,15	0,25	0,40	-
187	-	-	-	-	0,08
217	-	-	-	0,10	0,25
230	-	-	-	0,30	0,60
231	-	-	0,35	0,60	-
240	-	0,08	0,32	-	-

Таблица П.5

## Допустимый ток (А) печатных проводников

Метод изготовления	Толщина проводника фольги, мкм	Ширина проводника, мкм				
		0,15	0,25	0,5	1,0	3,0
Химический (внутренние слои МПП)	20	0,05	0,08	0,15	0,30	0,90
	35	0,08	0,13	0,26	0,53	1,58
	50	0,11	0,19	0,37	0,75	2,25
Химический (наружные слои ОПП, ДПП)	20	0,06	0,10	0,20	0,40	1,2
	35	0,11	0,18	0,35	0,70	2,1
	50	0,15	0,25	0,50	1,00	3,0
Комбинированный позитивный (ДПП)	20	0,23	0,38	0,75	1,50	4,50
	35	0,24	0,40	0,80	1,60	4,80
	50	0,29	0,48	0,95	1,90	5,70
Электрохимический	35	0,11	0,18	0,35	0,70	2,10

Таблица П.6

## Сопротивление печатных проводников длиной 1м

Метод изготовления	Толщина проводника, мкм	Сопротивление, Ом, не более, при ширине проводника, мм				
		0,15	0,25	0,5	1,0	3,0

Химический	20	6,60	4,00	2,00	1,00	0,33
	35	3,80	4,29	1,10	0,57	0,29
	50	2,66	1,60	0,80	0,40	0,13
Комбинированный	20	4,10	2,46	1,20	0,60	0,18
	35	2,80	1,63	0,80	0,40	0,14
	50	2,14	1,28	0,60	0,32	0,10
Электрохимический	35	10,66	6,40	3,20	1,60	0,53

Таблица П.7

Погонные емкости (пФ/см) соседних печатных проводников, расположенных в одном слое

Ширина проводника, мм	Зазор между проводниками, мм	ДПП		Внутренние слои МПП, $\epsilon_{эф}=6$
		нелакированные $\epsilon_{эф}=3,5$	лакированные $\epsilon_{эф}=5$	
0,2	0,2	0,53	0,75	0,90
0,2	0,6	0,35	0,5	0,60
0,3	0,3	0,53	0,75	0,90
0,3	0,6	0,42	0,60	0,72
0,4	0,4	0,53	0,75	0,90
0,5	0,3	0,63	0,90	1,08
0,5	0,5	0,53	0,75	0,90
0,6	0,2	0,7	1,00	1,2
0,6	0,6	0,53	0,75	0,90

Примечание:

1. Для лаков УР – 231 и ЭП – 9114  $\epsilon_{пл}=4$ 

2. Внутренние слои МПП изготовлены методом металлизации сквозных отверстий, парного прессования и комбинированным методом

Таблица П.8

Допустимые значения паразитной емкости электрических связей (пФ) при ложном срабатывании логических ИС

Серия ИС	114	130	133	155	187	217	230	231	240
$C, \text{пФ}$	25	35	50	60	45	20	50	50	40

Таблица П.9

Диапазон изменения электрических параметров электро монтажа

Элемент связи	$Z, \text{Ом}$	$L, \text{мкГн/м}$	$C, \text{пФ/м}$	$C, \text{пФ/с}$	$R, \text{Ом}$	$L, \text{м}$
Полосковая линия	$20 \dots 200 \pm (1 \dots 20)\%$	$0,02 \dots 0,5$	$5 \dots 50$	$5 \dots 20$	-	-
Межслойный переход печатной платы	140	0,2	1	-	0,0004	$1 \dots 3$
Одиночный объемный проводник над экраном диаметром $0,1 \dots 2 \text{мм}$ ; расстояние до экрана $1 \dots 100 \text{мм}$	$100 \dots 140$	$0,14 \dots 1,4$	$7 \dots 80$	-	$0,0056 \dots 1,1$	-

Перевернутая пара проводников типа МГТФ	120...160	1...2	50...100	-	-	-
Контактная пара разъема	200	30 нГн	0,8 пФ	-	0,01...0,02	20
Коаксиальный кабель	50...100 ± (4...20)%	0,1...0,5	0,64...0,15*10 <sup>-3</sup>	-	-	-
Экранированный провод	30...40 ± 20%	-	100...200	-	-	-
*Размерность – Ом/м.						

Таблица П.10

Предельно допустимые положительные температуры для некоторых изоляционных материалов

Материалы	Температура, °С
Непропитанные волокнистые (древесная бумага, картон, фибра, х/б волокно, натуральный шелк)	90
Волокнистые, пропитанные масляными, масляно-смоляными и другими лаками. Эмалевая и лаковая изоляция	105
Пластмассы из фенолформальдегидных и других смол с целлюлозными наполнителями (гетинакс, текстолит и др.)	120
Стекло волокнистые, пропитанные компаундами на основе высыхающих масел, шеллака, бакелита и т.д.	130
Из стекловолокна, асбеста, пропитанные: эпоксидными лаками (смолами) кремнийорганическими состава	155
	180
Неорганические непропитанные (слюда, стекло, керамика, кварц, фторопласт-4)	Более 180

Таблица П.11

Эффективность различных способов конвективного теплоотвода при перегреве аппаратуры относительно окружающей среды до 30°C

Теплоотвод	Плотность теплового потока, Вт/см²
Естественно воздушный: в герметичном блоке	0,007...0,015
	0,01...0,05
Принудительно – воздушный жидкостный: маслом	0,15...0,4
	0,5...31
	1,5...10
Испарительным охлаждением: Фторорганическими жидкостями (фреоны)	1,5...25
	1,5...150

Таблица П.12

Характеристики некоторых материалов герметизирующих прокладок

Материал прокладки	Допустимое давление,	Допустимая температура, °С
--------------------	----------------------	----------------------------

	Н/см <sup>2</sup>	(при ограниченном числе термоциклов)
Медь	4000	-183...+150(до 600)
Алюминий	600	+150(до 400)
Свинец	Без ограничений	+100
Индий	То же	+150
Резина	2500	-60...+250
Фторопласт-4	100...300	-195...+260
Фторопласт-3	100...150	-85...+200
Полиамиды	250...300	-40...+80

Таблица П.13

Значение поправочного коэффициента  $K=\lambda/\lambda_0$  для элементов РЭС в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Поправочный коэффициент
Лабораторные и благоустроенные помещения	1,0
Стационарные наземные устройства	10...20
Защитные отсеки кораблей	17...40
Автоприцеп	25...50
Железнодорожная платформа	40...60
Самолет	100...150
Управляемый снаряд	300...350
Ракета	700...1000
Примечание: $\lambda$ – интенсивность отказов элемента при эксплуатации, 1/ч; $\lambda_0$ – интенсивность отказов элемента в лабораторных условиях, 1/ч.	



