

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 17.07.2024 00:56:33

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11caabbf73e947df6a4851fdb56dd989

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и средств связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

  
О.Г. Локтионова

«23» 05



## ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания к практическим занятиям

УДК 621.382

Составитель Е. О. Брежнева

Рецензент

Доктор технических наук, профессор Чернецкая И. Е.

**Основы конструирования электронных средств:** методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.О. Брежнева. Курск, 2024. - 117 с.

Приведены теоретические сведения и задания для практических занятий.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматике и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 23.05. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 6,80. Уч.- изд. л. 6,16. Тираж 100 экз. Заказ 462 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## СОДЕРЖАНИЕ

Цель и задачи лабораторных занятий.....	4
Планируемые результаты обучения.....	4
Необходимые материально-техническое оборудование и материалы.....	7
Практическое занятие №1 «Конструкторская документация».....	7
Практическое занятие №2 «Разработка технического задания на электронное устройство».....	22
Практическое занятие №3 «Выбор элементной базы при проектировании электронных средств».....	26
Практическое занятие №4 «Составление перечня элементов».....	36
Практическое занятие №5 «Выбор способа охлаждения.....	42
Практическое занятие №6 «Оценка теплового режима ЭВС коэффициентным методом при воздушном охлаждении».....	47
Практическое занятие №7 «Расчет вибрационных характеристик печатной платы».....	60
Практическое занятие №8 «Конструирование лицевой панели электронного блока».....	68
Список рекомендуемой литературы.....	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	105

## **Цель и задачи практических занятий**

**Целью** практических занятий является закрепление и формирование знаний и умений в области конструирования электронных средств.

### **Задачи практических занятий:**

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- приобретение обучающимися познаний о классификации ЭС, условий эксплуатации ЭС, об основных проблемах проектирования конструкций ЭС;
- изучение и освоение принципов системного подхода при конструировании ЭС;
- изучение нормативной базы проектирования, стандартов и документооборота при проектировании ЭС;
- изучение процесса проектирования печатной платы;
- изучение уровней разукрупнения ЭС и особенностей их построения;
- изучение и освоение теории надежности ЭС и основ защиты ЭС от внешних воздействий.

### **Планируемые результаты обучения**

Обучающийся должен

#### ***знать:***

- методы теоретического и экспериментального исследования в конструировании ЭС;
- методы сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей ЭС;
- методы проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств в соответствии с техническим заданием;
- процессы проектирования печатных плат;
- принципы построения расчетных моделей;

- элементную базу ЭС;
- методы расчета показателей надежности проектов конструкций ЭС;
- методы расчета показателей механической прочности и тепловых режимов проектов конструкций ЭС;
- схемную конструкторскую документацию;
- факторы, воздействующие на параметры ЭС;
- стандартные пакеты автоматизированного проектирования ЭС;
- группы руководящих стандартов при проектировании, производстве и эксплуатации ЭС;
- виды и комплектность конструкторских документов;
- стадии разработки электронных средств;
- этапы выполнения работ по каждой стадии разработки электронных средств;
- современные средства редактирования изображений и чертежей в конструировании ЭС;

***уметь:***

- применять принципы построения расчетных моделей при проектировании узлов и блоков ЭС;
- применять методы системного анализа при проектировании ЭС;
- выполнять расчет показателей тепловых режимов проектов конструкций ЭС;
- использовать методы основных законов естественнонаучных дисциплин в конструировании ЭС;
- выбирать элементную базу с учетом воздействующих факторов;
- оформлять конструкторскую документацию на основе современных средств выполнения изображений и чертежей;
- составлять описание принципиальной электрической схемы и перечень элементов;
- осуществлять сбор и анализ технической документации;
- анализировать принципиальные электрические схемы и описание устройства;
- анализировать существующие решения, осуществлять предварительный выбор вариантов решений, удовлетворяющих требованиям ТЗ;
- находить и анализировать техническую документацию на ЭС;

- использовать современные средства подготовки конструкторской документации в конструировании ЭС;

***владеть:***

- навыками работы в сети интернет, с электронными библиотеками и техническими описаниями программных продуктов;

- методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования в конструировании ЭС;

- навыками проектирования печатных плат;

- методами теоретического и экспериментального исследования в конструировании ЭС;

- методами моделирования процессов тепловых воздействий на ЭС;

- методикой расчета показателей механической прочности и тепловых режимов;

- методикой расчета деталей, узлов и модулей ЭС в соответствии с техническим заданием;

- методикой расчета показателей надежности ЭС;

- навыками чтения и анализа принципиальных и монтажных электрических схем;

- навыками разработки электрических принципиальных схем с использованием система автоматизированного проектирования;

- навыками оформления принципиальной и монтажной электрических схем в составе конструкторской документации с учетом требований ЕСКД.

- навыками сбора и анализа научной информации, технической документации, требований к ЭС;

- навыками анализа технического задания на разработку ЭС;

- навыками составления перечня элементов электрической принципиальной схемы;

- современными средствами редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторской документации в конструировании ЭС.

## **Необходимые материально-техническое оборудование и материалы**

1. Microsoft Windows Professional 7 Russian (Upgrade Academic OPEN1 License No Level № 60803556 - 13 копий);
2. LibreOffice (LGPL v3);
3. Антивирус Касперского (или ESETNOD);
4. ПК (Processor i5-2500, RAM DDR3 4 GB, HDD 320 GB, DVD RW, TFT-монитор 24” 1920x1080);
5. MatLab R2012b (лицензия №820456) – пакет прикладных программ.

### **Практическое занятие №1 «Конструкторская документация»**

#### **Методические рекомендации по выполнению заданий**

Под проектированием понимают создание в виде определённой (стандартной) формы описания нового объекта, предназначенного для последующего производства.

Проектирование электронных средств основано на использовании различных стандартов, нормативно-технической документации, справочных материалов, требований и т.п. Умение руководствоваться такими документами при выполнении всех этапов проектных работ – обязательное требование к специалисту, поэтому важно уделять внимание действующим стандартам и нормативно-технической документации, используемой для решения задач, возникающих на всех этапах проектирования, а также используемым информационным технологиям.

Проектирование нового устройства является сложной многоэтапной задачей, стадии решения которой стандартизованы – ГОСТ 2.103-2013. Стадии разработки.

#### **Стадии разработки электронных средств**

Основными стадиями являются – стадии *технического предложения, эскизного проекта и технического проекта* (таблица1).

Техническое предложение подразумевает анализ существующих решений, предварительный выбор вариантов решения,

удовлетворяющих требованиям технического задания, макетирование проблемных узлов, разработку требований к прочим функциональным узлам, блокам изделий. Конструкторская документация (КД) получает литеру «П».

Эскизное проектирование. На этой стадии проводят конструкторскую и технологическую проработку изделия, а также изготавливают макетный образец (или несколько). Образцы проходят испытания, по результатам которых проводится коррекция и доработка конструкторской документации. Помимо этого, решаются вопросы технологии изготовления, наладки и испытания. Конструкторская документация получает литеру «Э».

Технический проект. На этой стадии разрабатывается полный комплект конструкторской и технологической документации, которой присваивается литера «Т», изготавливается опытная серия ЭС и проводятся испытания на соответствие заданным в ТЗ техническим и эксплуатационным требованиям.

Результаты, полученные на стадии технического проекта, являются основой для разработки полного комплекта рабочей КД опытного образца, которой присваивается литера «О». Эти работы относятся к следующему этапу разработке рабочей конструкторской документации.

Стадии разработки ТЗ, технического предложения и эскизного проектирования включаются, как правило, в научно-исследовательскую работу (НИР), а стадии разработки технического проекта и технологической подготовки производства – в опытно-конструкторскую разработку (ОКР).

При проектировании, производстве и эксплуатации изделий руководствуются стандартами следующих групп:

- единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- единая система технологической документации (ЕСТД);
- единая система программной документации (ЕСПД);
- единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) и др.



Таблица 1. Стадии проектирования согласно ГОСТ

Стадия разработки		Этапы выполнения работ	
Разработка проектной конструкторской документации (КД)	Разработка технического предложения	Изучение и анализ ТЗ	
		Подбор материалов	
		Разработка КД технического предложения	
		Рассмотрение и утверждение КД технического предложения с присвоением КД литеры "П"	
	Разработка эскизного проекта	Разработка эскизного проекта	
		Изготовление и испытание и/или разработка и анализ материальных макетов (при необходимости) и/или разработка и анализ электронных макетов (при необходимости)	
		Рассмотрение и утверждение КД эскизного проекта с присвоением документам литеры "Э"	
	Разработка технического проекта	Разработка технического проекта	
		Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и/или разработка, анализ электронных макетов (при необходимости)	
		Рассмотрение и утверждение КД технического проекта с присвоением КД литеры "Т"	
	Разработка рабочей КД	Разработка КД опытного образца (опытной партии) изделия	Разработка КД, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия, без присвоения литеры
			Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии) изделия
Корректировка КД по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии) изделия с присвоением КД литеры "О"			
Приёмочные испытания опытного образца (опытной партии) изделия			
Корректировка КД по результатам приёмочных испытаний опытного образца (опытной партии) изделия с присвоением КД литеры "О <sub>1</sub> "			
Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) по документации с литерой "О <sub>1</sub> " и корректировка КД с присвоением им литеры "О <sub>2</sub> ", "О <sub>3</sub> ", ... "О <sub>n</sub> "			
Разработка КД на изделие серийного (массового) производства		Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой "О <sub>1</sub> " (или "О <sub>2</sub> ", "О <sub>3</sub> ", ... "О <sub>n</sub> ")	
		Корректировка КД по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия, с присвоением КД литеры "А"	

		Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - изготовление и испытание головной (контрольной) серии по КД с литерой "А" и соответствующая корректировка КД с присвоением им литеры "Б"
	Разработка КД на изделие единичного производства	Разработка КД, предназначенной для изготовления и испытания изделия с присвоением им литеры "И"
<p>Стадия "Техническое предложение" не распространяется на КД, заказов Министерства обороны.</p> <p>Примечание - Всем стадиям разработки рабочей КД могут предшествовать стадии разработки проектной КД.</p>		

### **Модульный принцип проектирования**

Основу модульного принципа проектирования составляет разработка ЭС с учётом конструктивной и функциональной взаимозаменяемости составных частей конструкции – модулей.

Под модулем понимают составную часть аппаратуры, имеющую законченное функциональное назначение и конструкцию, снабжённую элементами соединения и коммутации с другими модулями в изделии.

Использование модульного принципа проектирования позволяет снизить затраты на разработку и изготовление ЭС, обеспечить совместимость и преемственность технических решений при улучшении показателей качества, повышения надёжности и срока эксплуатации изделий.

Модульный принцип проектирования основан на методах решения задачи компоновки и предполагает разбиение всей электрической схемы ЭС на подсхемы, выполняющие определённые функции. Полученные подсхемы дробятся на более простые части до тех пор, пока вся электрическая схема устройства не будет представлена в виде набора модулей различного уровня сложности.

Конструкцию современных ЭС можно рассматривать как некоторую иерархию модулей, каждая ступень которой называется уровнем модульности. При выборе числа уровней модульности проводится решение задачи типизации, т.е. сокращение разнообразия модулей в ЭС определённого функционального назначения. Функциональное разнообразие изделий достигается использованием различного числа уровней конструктивной иерархии модулей.

Уровни разукрупнения электронных средств устанавливает ГОСТ Р 52003–2003, в соответствии с которым выделяют четыре основных уровня модульности. К ним относят:

- электронный модуль нулевого уровня (ЭМ0) – модуль, выполненный на базе изделий электронной техники и электротехнических изделий. В зависимости от исполнения аппаратуры модулем нулевого уровня служат различные электрорадиоизделия, в том числе интегральные микросхемы и микросборки;

- электронный модуль первого уровня (ЭМ1) – модуль, изготовленный на основе базовой несущей конструкции (БНК) первого уровня. Примером ЭМ1 служит ячейка, представляющая собой печатную плату (ПП) с установленными на ней модулями нулевого уровня и электрическим соединителем;

- электронный модуль второго уровня (ЭМ2) – модуль, изготовленный на основе БНК второго уровня. Типичным примером ЭМ2 является блок, основными конструктивными элементами которого является панель с ответными соединителями модулей ЭМ1, размещёнными в один или несколько рядов;

- электронный модуль третьего уровня (ЭМ3) – модуль, изготовленный на основе БНК третьего уровня, например, шкаф, в который устанавливаются блоки.

На рисунке 1.1 условно показаны иерархические уровни разукрупнения ЭС. Необходимо заметить, что в простой аппаратуре высшие уровни модульности отсутствуют. Полная модульность, показанная на рис. 1.1, используется только в сложных ЭС.

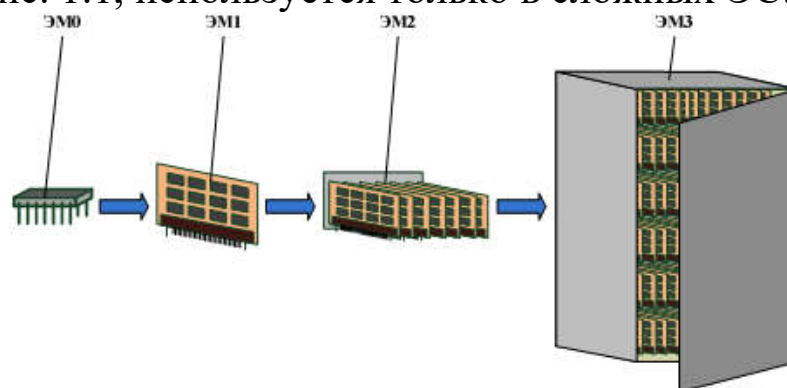


Рисунок 1 – Уровни разукрупнения электронных средств ЕСКД

ЕСКД устанавливает единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации

на изделия. Конструкторскую документацию составляют графические и текстовые документы, в отдельности или в совокупности, определяющие состав и устройство изделия, и содержащие необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, приёмки, эксплуатации, ремонта, утилизации.

Состав и классификацию стандартов ЕСКД устанавливает ГОСТ 2.001–93 (табл. 2). Обозначение стандартов ЕСКД выполняют по правилам, установленным ГОСТ 1.0–92. Номер стандарта составляется из цифры, присвоенной классу стандартов ЕСКД (2), одной цифры после точки, обозначающей классификационную группу стандартов, числа, определяющего порядковый номер стандарта в данной группе, и двузначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта.

Например, обозначение стандарта «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» имеет вид: ГОСТ 2.701–84, т.е. ГОСТ – категория нормативно-технического документа (государственный стандарт), 2 – класс (стандарты ЕСКД), 7 – классификационная группа стандартов, 01 – порядковый номер стандарта в группе, 84 – год регистрации стандарта.

Таблица 2

Номер группы	Наименование группы стандартов
0	Общие положения
1	Основные положения
2	Классификация и обозначение изделий и конструкторских документов
3	Общие правила выполнения чертежей
4	Правила выполнения чертежей различных изделий
5	Правила изменения и обращения КД (учёт, хранение, дублирование, изменение)
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
7	Правила выполнения схем
8	Правила выполнения документов при макетном проектировании
9	Прочие стандарты

Виды и комплектность конструкторских документов регламентирует ГОСТ 2.102–68 (переиздание 2007 г., с изменениями). В соответствии с ним к основным графическим конструкторским документам относятся:

- чертёж детали, содержащий изображение детали и другие необходимые данные для её изготовления и контроля;
- сборочный чертёж (СБ), содержащий изображение сборочной единицы и другие необходимые данные для её изготовления и контроля;
- электромонтажный чертёж (ЭМ), содержащий данные для электрического монтажа изделия;
- схема, содержащая составные части изделия в виде условных графических обозначений с указанием связей между ними и др.

Основную текстовую конструкторскую документацию составляют:

- спецификация, определяющая состав сборочной единицы, комплекса, комплекта;
- ведомость технического проекта (ТП), состоящая из перечня документов, вошедших в технический проект;
- пояснительная записка (ПЗ), содержащая описание устройства и принципа действия проектируемого изделия, а также технико-экономическое обоснование разработки и другие текстовые документы.

### **Схемная конструкторская документация**

Схемой называется графическая конструкторская документация, на которой в виде условных изображений или обозначений показаны составные части изделия и связи между ними. Схемы применяют при изучении принципа действия механизма, прибора, аппарата при их изготовлении, наладке и ремонте, для понимания связи между составными частями изделия без уточнения особенностей их конструкции. Схемы служат основой для последующего конструирования отдельных частей и всего изделия в целом.

Составляющими частями схем являются:

– элемент схемы – составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (микросхема, резистор, транзистор и др.);

– устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, модуль, плата и т.п.);

– функциональная группа – совокупность выполняющих определённую функцию элементов, не объединённых в единую конструкцию;

– функциональная цепь – линия (канал, тракт) на схеме, определённого назначения, например, тракт видеосигнала, канал звукового сигнала и т.п.;

– линия взаимосвязи – отрезок линии на схеме, показывающий на наличие связи между функциональными частями.

В зависимости от вида элементов, входящих в состав изделия и связей между ними ГОСТ 2.701–84 разделяет схемы на десять видов с буквенным обозначением:

электрические (Э),  
гидравлические (Г),  
пневматические (П),  
газовые (Х),  
кинематические (К),  
вакуумные (В),  
оптические (О),  
энергетические (Р),  
деления (Е),  
комбинированные (С).

По основному назначению ГОСТ 2.701–84 устанавливает восемь типов схем, обозначаемых цифрами:

структурные (1),  
функциональные (2),  
принципиальные (3),  
соединений (монтажные) (4),  
подключения (5),  
общие (6),  
расположения (7),  
объединённые (0).

В соответствии с данными обозначениями, устанавливается буквенно-цифровой код схемы. Например, схема электрическая структурная – Э1, схема оптическая функциональная – О2, схема электрокинематическая принципиальная – С3, схема электрическая структурная, принципиальная и соединений – Э0.

Схемы выполняются согласно ГОСТ 2.701–84 без соблюдения масштаба на форматах, установленных ГОСТ 2.301–68, с использованием условных графических обозначений (УГО), установленных в стандартах ЕСКД, а также прямоугольников и упрощённых внешних очертаний. Элементы, входящие в изделие и показанные на схеме, должны иметь обозначения (буквенные, цифровые или буквенноцифровые) в соответствии со стандартами на правила выполнения конкретных видов схем и включаться в перечень элементов, размещённый на первом листе схемы или выполненный в виде самостоятельного документа.

## **Электронная документация**

В связи с широким внедрением информационных технологий на всех этапах проектирования и производства ЭС, появилась потребность представления конструкторской документации в безбумажной форме, т.е. в виде электронного конструкторского документа (ЭКД). Согласно ГОСТ 2.051–2006, определяющим общие положения электронного документооборота, ЭКД получают в результате выполнения автоматизированного проектирования изделий в двух представлениях – внутреннем и внешнем. Во внутреннем виде ЭКД существует только в виде записи информации на электронном носителе и воспринимаемом программно-аппаратными средствами. Внешнее представление получают путём преобразования внутреннего представления ЭКД различными техническими средствами вывода информации (дисплеями, принтерами, плоттерами и др.) к доступной для визуального восприятия форме.

Любой ЭКД состоит из содержательной и реквизитной частей. Содержательная часть включает в себя всю необходимую информацию об изделии и может состоять как отдельно, так и в любом сочетании из текстовой, графической, мультимедийной

информации. Реквизитная часть состоит из структурированного по назначению набора реквизитов и их значений. В реквизитную часть ЭКД допускается вводить дополнительные реквизиты с учётом особенностей применения и обращения ЭКД. Номенклатуру дополнительных реквизитов и правила выполнения и отображения в визуальной форме определяет разработчик. Следует заметить, что все реквизиты ЭКД, значением которых служит подпись, выполняют в виде электронной цифровой подписи (ЭЦП) по ГОСТ Р 34.10–2001. При обращении ЭКД должна быть обеспечена возможность проверки ЭЦП всеми участниками обращения документа. Подтверждение подлинности и целостности ЭКД обеспечивается соответствующими программно-техническими средствами.

Среди ЭКД выделяют простые, составные и агрегированные в зависимости от состава и способа организации содержательной части. Простой ЭКД реализует содержательную часть в виде одной информационной единицы (ИЕ). В составном ЭКД содержательная часть образована несколькими ИЕ, связанными друг с другом ссылками, а в агрегированном ЭКД содержательная часть состоит из нескольких ИЕ, информационно связанных друг с другом. На рисунке 2 показаны примеры организации данных в электронных конструкторских документах.





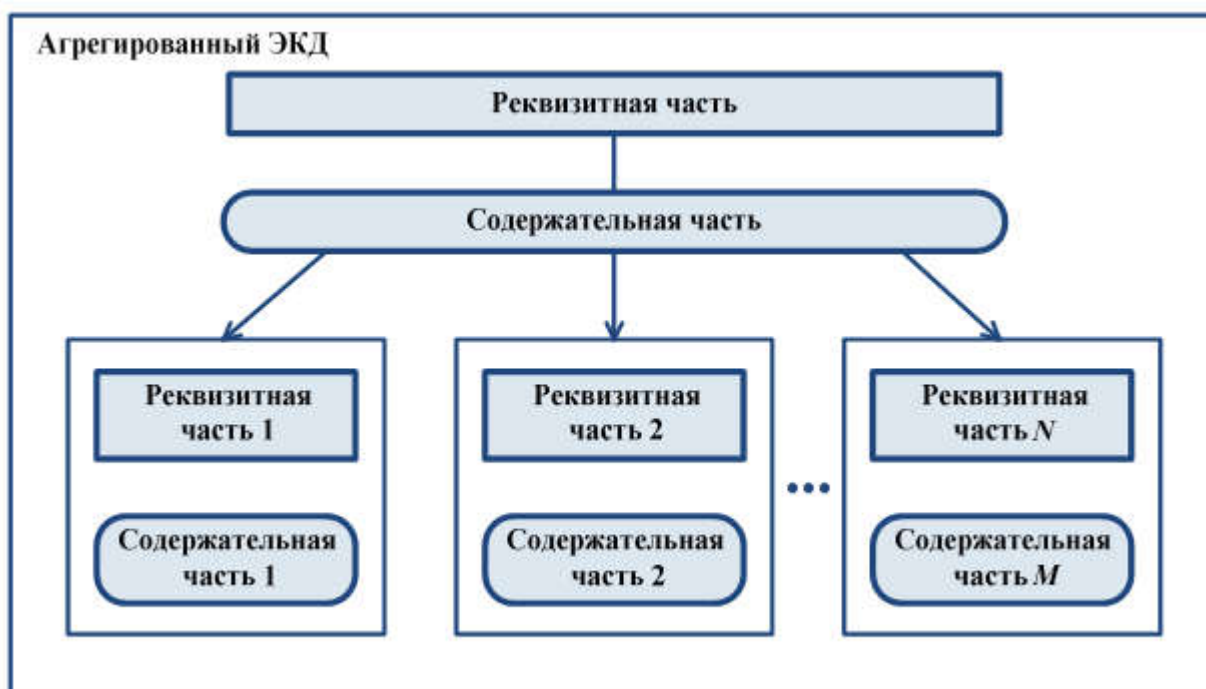


Рисунок 2 – Примеры организации данных в ЭЖД

Виды и наименования ЭЖД в зависимости от способа их выполнения и характера использования присваиваются в соответствии с ГОСТ 2.102–68 аналогично традиционной КД, однако для ЭЖД добавляется дополнительный код, который указывается в реквизитной части

документа. Так, электронной структуре изделия присваивается код «ЭС», всем чертежам в виде электронной модели изделия (детали и сборочные единицы) соответствует код «3D», чертежам и схемам в электронной форме – код «2D», а для всех текстовых документов в электронной форме добавляется код «ТЭ».

При выпуске ЭЖД реквизитную часть часто оформляют в виде информационно-удостоверяющего листа (ИУЛ). ИУЛ используют для сопровождения выпуска одного или нескольких документов, а также комплекта документов. Если ИУЛ выпускают на один электронный документ, то ему присваивают обозначение ЭЖД на это изделие с добавлением кода УЛ. Если ИУЛ выпускают на комплект документов, записанных в спецификацию, ведомость технического предложения или ведомость технического (эскизного) проектов, то ему присваивают обозначение спецификации или соответствующей

ведомости с добавлением через дефис кода УЛ (например, ХХХХ.ХХХХХХ.ХХХ.УЛ; ХХХХ.ХХХХХХ.ХХХ.ТП-УЛ).

ИУЛ рекомендуется выполнять согласно ГОСТ 2.301–68 по форме 1 на листах формата А4, А5, общие требования к выполнению по ГОСТ 2.004–88. Рекомендуемая форма ИУЛ приведена на рисунке 3.

Графы ИУЛ должны содержать следующую информацию:

– графа 1 – порядковый номер ЭКД, выпуск которого оформляется данным ИУЛ. При выпуске ИУЛ на один ЭКД графа не заполняется;

– графа 2 – обозначение и номер версии ЭКД, выпуск которых оформляется данным ИУЛ;

– графа 3 – наименование и вид документа, которому присвоен код по ГОСТ 2.102–68, ГОСТ 2.601–2006, ГОСТ 2.602–95, ГОСТ 2.701–84;

– графа 4 зарезервирована для использования при необходимости разработчиком;

– графа 5 – примечание (дополнительные данные о документе - наименование файла документа; обозначение первичного документа и т.д.);

– графа 6 содержит причину (цель) выпуска документа;

– графа 7 – дату, с которой вводится в действие данная версия документа;

– графа 8 – документ, служащий основанием для ввода в действие данной версии ЭКД. Графу не заполняют для документов, имеющих только одну версию;

– графы 9, 10 зарезервированы для использования при необходимости разработчиком;

– графа 11 – сведения о характере работы, выполняемой лицом, подписывающим документ, в соответствии с ГОСТ 2.104–2006. Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика, например: «Т. контроль»;

– графа 12 – фамилии лиц, подписавших документ;

– графа 13 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11.

В случае недостаточности количества строк допускается использовать для размещения согласующих подписей свободное поле для подшивки ИУЛ или увеличивать количество строк блока граф 11 – 14;

- графа 14 – дата подписания документа лицами, фамилии которых указаны в графе 11;
- графа 15 – обозначение ИУЛ;
- графа 16 содержит собственное наименование ИУЛ («информационно-удостоверяющий лист»). Допускается собственное наименование не заполнять и использовать графу как резерв для внесения необходимой информации;
- графа 17 – порядковый номер листа ИУЛ;
- графа 18 – общее количество листов ИУЛ.

После оформления ИУЛ включают в комплект подлинников документов, и его учёт и хранение осуществляют по правилам, установленным для конструкторской документации.

Номер л/п	Обозначение КД Версия	Наименование КД вид документа		Примечание	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
	Цель (примина выпуска)	Дата	Действует с	(9)	(10)
	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	Разработал				
	Проверил				
	(11)	(12)	(13)	(14)	
	Н. конт роль				
	Ут. вернул				

(15)	(16)	Лист (17)	Листов (18)
------	------	--------------	----------------

Рисунок 3 – Форма информационно-удостоверяющего листа

Таким образом при разработке электронных средств важнейшим документом для создания устройства является схема электрическая принципиальная, а значительное место в общем объёме рабочих чертежей деталей занимают чертежи печатных плат, правила выполнения которых устанавливает ГОСТ 2.417–91.

### Алгоритм выполнения заданий

1. Выписать и выучить основные стадии разработки электронных средств;

2. Изучить теоретический материал «Модульный принцип проектирования», выписать и выучить основные уровни разукрупнения электронных средств;

3. Изучить состав и классификацию стандартов ЕСКД;

4. Пользуясь материалом, изложенным в методических рекомендациях, составить и заполнить таблицу 3, содержащую все упоминаемые выше ГОСТы.

Таблица 3

ГОСТ	Наименование
ГОСТ 2.001–93	Единая система конструкторской документации. Общие положения.
...	...
...	...

5. Изучить содержание ГОСТов, внесенных в таблицу 3.

*Пример:*

1. ГОСТ 2.001–93 - Устанавливает состав и классификацию стандартов ЕСКД;

...

...;

6. Изучить теоретический материал «Схемная конструкторская документация», составить краткий конспект;

7. Изучить теоретический материал «Электронная документация», составить краткий конспект.

### **Форма отчета обучающегося**

1. Краткий конспект, содержащий основные разделы теоретического материала;

2. Заполненная таблица 3;

3. Содержание ГОСТов по п. 5;

4. Письменные ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под проектированием технического объекта?
- 2 Какие стадии разработки КД на изделие принято выделять?
- 3 В чём заключается модульный принцип проектирования?
- 4 Какие уровни разукрупнения электронных средств принято выделять?
- 5 Какие основные Государственные стандарты, регламентирующие состав и требования к технической документации, Вы знаете?
- 6 В чём состоит назначение и каков состав ЕСКД?
- 7 Какие текстовые конструкторские документы входят в состав ЕСКД?
- 8 Какие виды и типы схем принято выделять?
- 9 Каковы основные требования к разработке и оформлению схем?
- 10 Каковы основные требования к разработке и оформлению ЭКД Вы знаете?
- 11 Каковы основные требования к разработке и оформлению ЭКД?
- 12 Продолжите предложение. ГОСТ 2.001–93 устанавливает
- 13 Продолжите предложение. ГОСТ 2.102–68 устанавливает
- 14 В каком году было переиздание ГОСТ 2.102–68, какие изменения внесены?
- 15 Продолжите предложение. ГОСТ 2.701–84 устанавливает
- 16 Продолжите предложение. ГОСТ 2.301–68 устанавливает
- 17 Продолжите предложение. ГОСТ 2.051–2006 устанавливает
- 18 Продолжите предложение. ГОСТ 2.004–88 устанавливает
- 19 Продолжите предложение. ГОСТ 2.417–91 устанавливает
- 20

## Практическое занятие №2 «Разработка технического задания на электронное устройство»

### Методические рекомендации по выполнению заданий

Составление технического задания начинается с аналитического обзора области применения, используемых методов, существующих решений.

Исследование состояния рынка включает в себя сбор, систематизацию и анализ информации (технической документации) на готовые образцы техники с приведением их детальных характеристик и стоимости.

На следующем этапе решается вопрос о показателях конкурентоспособности разрабатываемого устройства, которая может достигаться за счет расширения функциональных возможностей при сохранении или незначительном увеличении цены или за счет снижения цены при использовании эффективных решений и сохранении характеристик на уровне существующих образцов.

На основании результатов исследования рынка формируется перечень показателей или параметров и их предельные значения.

**Пример.** Основные параметры и функции электрофореза:

#### ***Параметры электрофореза:***

1. Определение предельного значения тока пациента (50 мА);
2. Оценка точности поддержания заданного значения тока (1%);
3. Максимальное значение сопротивления цепи пациента (500 Ом).

#### ***Функции электрофореза:***

1. Контроль обрыва цепи пациента;
2. Максимальное напряжение на электродах в аварийных ситуациях (25-28 мин);
3. Возможность установки времени сеанса и автоматического отключения по его истечению;
4. Индикация величины тока пациента;
5. Автоматическое обесточивание цепи пациента при обрыве цепи и восстановление заданного значения тока при восстановлении цепи пациента;
6. Сигнализация об окончании сеанса (звуковая, световая);

7. Отсутствие тока пациента в момент начала сеанса.

Техническое задание на проектируемое средство включает следующие пункты:

1. Назначение устройства. Детально описывается к какой области относится устройство и выполняемые функции.

2. Перечень нормируемых параметров и их значения.

3. Условия эксплуатации.

4. Массогабаритные показатели и потребляемая мощность. Для оценки массогабаритных показателей необходимо прежде всего оценить потребляемую мощность, КПД, и уровень допустимых электромагнитных помех, которые определяют тип источника электропитания (классический трансформаторный или импульсный АС-DC преобразователь), влияющие на габариты источника электропитания. После этого следует оценить сложность управляющего устройства, исполнительных устройств, а также принципы управления устройством и интерфейс пользователя. При проектировании устройства проектировщик балансирует между удобством пользователя и сложностью реализации панели управления.

Пример технического задания на электронное устройство представлен в приложении А.

### Алгоритм выполнения заданий

1. Осуществить сбор и анализ информации (научных публикаций, технической документации) на проектируемое электронное средство.

2. Составить описание принципа работы электронного средства и методов, лежащих в основе его функционирования.

3. Заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Выпускаемые промышленностью аналоги

Наименование	Параметры			Цена, руб.
	...	...	...	
...				

4. На основании анализа собранной информации и параметров существующих аналогов (таблица 2.1) составить перечень основных параметров и функций проектируемого электронного средства, обеспечивающих конкурентоспособность проектируемого устройства. Выбор обосновать.

5. Опираясь на результаты, полученные в п.4, выполнить разработку технического задания на проектируемое средство.

### **Варианты заданий**

1. Электрофорез;
2. Амплипульс;
3. Газоанализатор угарного газа;
4. Бытовой сигнализатор утечки метана;
5. Генератор прямоугольных импульсов;
6. Дозиметр-радиометр;
7. Двухкомпонентный газоанализатор монооксида углерода и водорода.
8. Импульсный источник питания;
9. Зарядное устройство передвижной электростанции;
10. Цифровой радиоприемник;
11. Газоанализатор раннего обнаружения пожаров;
12. Частотомер;
13. Функциональный генератор;
14. Часы-таймер;
15. Электрический паяльник со стабилизацией температуры.

### **Форма отчета обучающегося**

1. Описание принципа работы электронного средства и методов, лежащих в основе его функционирования;
2. Заполненная таблица 1;
3. Перечень основных параметров и функций проектируемого электронного средства. Обоснование выбора;
4. Техническое задание на проектируемое электронное устройство;



4. Выводы;
5. Письменные ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите этапы проектирования электронных средств;
2. Перечислите группы руководящих стандартов при проектировании, производстве и эксплуатации ЭС;
3. Сформулируйте требования и правила оформления технического задания;
4. Какие виды источников информации используются при проведении аналитического обзора?
5. С какой целью осуществляется изучение уровня техники в области проектируемого электронного средства?
6. Перечислите показатели конкурентоспособности разрабатываемого электронного средства.
7. Перечислите основные пункты, которые должно содержать техническое задание на проектируемое электронное средство.
8. Назовите основные технические характеристики проектируемого электронного устройства.
9. Улучшение каких параметров и характеристики позволит обеспечить конкурентоспособность проектируемого электронного средства?
10. Какие базовые функции реализует проектируемое электронное средство?
11. Перечислите расширенный список функций проектируемого устройства.
12. Опишите принцип работы проектируемого устройства.
13. Назовите методы, лежащие в основе функционирования проектируемого электронного средства.
14. С какой целью проводятся патентные исследования при проектировании электронного устройства?
15. Перечислите основных российских и зарубежных производителей проектируемого электронного средства.

## Практическое занятие №3 «Выбор элементной базы при проектировании электронных средств»

### Методические рекомендации по выполнению заданий

На рисунке 3.1 представлена электрическая принципиальная схема формирователя тока пациента. Ток пациента задаётся преобразователем напряжение-ток, построенным на основе операционного усилителя DA1A и составного транзистора VT1, VT2 (схема Дарлингтона) включённого по схеме с общим эмиттером (ОЭ), охваченного отрицательной обратной связью по току.

Сигнал обратной связи снимается с резисторов R11-R13 в цепи эмиттера, определяющего крутизну преобразователя, и через резистор R5 поступает на инвертирующий вход ОУ. Напряжение обратной связи сравнивается с напряжением на неинвертирующем входе операционного усилителя. Это напряжение формируется ШИМ-ЦАП. ШИМ-ЦАП представляет собой встроенный таймер микроконтроллера, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции, делитель напряжения на резисторах R1, R2, R3 и фильтр низких частот R4C4. Делитель напряжения является элементом подстройки тока пациента при регулировке аппарата.

Фильтр низких частот сглаживает импульсное напряжение (на его выходе величина постоянного напряжения равна среднему значению импульсного напряжения, снимаемого с движка подстроечного резистора R2).

Конденсатор C3 в цепи обратной связи операционного усилителя DA1A обеспечивает устойчивость преобразователя напряжение-ток.

Стабилитрон VD2 ограничивает управляющее напряжение на базе составного транзистора VT1, VT2, ограничивая тем самым ток пациента.

На выходе таймера низкий уровень выходного напряжения не равен 0. Для компенсации ненулевого начального тока используется цепь смещения R7, R9, R10. При установке тока пациента равным 0, резистором R10 добиваются нулевого показания миллиамперметра в цепи пациента. Регулировка должна быть односторонней (при ненулевом токе плавно уменьшают его регулировкой подстроечным резистором, прекращая регулировку сразу при достижении нуля).

Цепь R15, C7 позволяет контролировать величину тока в цепи эмиттера составного транзистора VT1, VT2. При существенных отклонениях от заданного значения, ток отключается и включается звуковой сигнал. Этот сигнал свидетельствует о нарушении контакта электродов с пациентом. Оператор должен проверить прилегание электродов и влажность прокладок, *установить регулятор тока в 0 и плавно увеличить ток до необходимого значения.*

Резистор в цепи эмиттера составного транзистора может переключаться с помощью электромагнитного реле при выборе диапазона тока пациента. При токе 50 мА параллельно резистору R11 = 510 Ом подключается резистор из двух параллельных резисторов R12, R13 и общее сопротивление устанавливается равным 51 Ом.

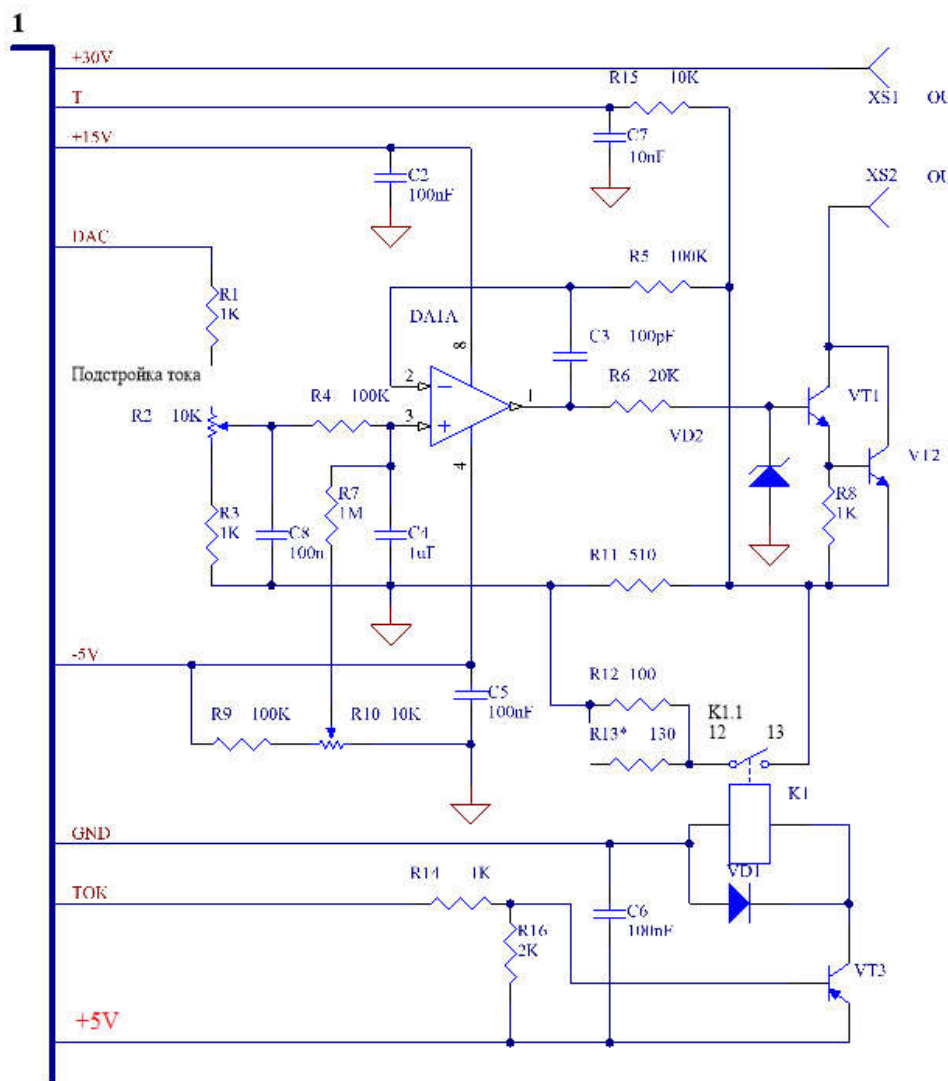


Рисунок 3.1 – Формирователь тока пациента

Питание преобразователя напряжение-ток осуществляется от гальванически развязанного преобразователя DC-DC с напряжением  $\pm 15$  В (суммарное напряжение 30 В). Поскольку диапазон поддержания стабильного напряжения этого преобразователя при изменении тока нагрузки составляет 10-100% (50-500 мА), то для питания устройства индикации используется преобразователь  $\pm 5$  В, подключённый к выходу преобразователя  $\pm 15$  В, что обеспечивает его начальную нагрузку. От источника -5 В берётся ток начального смещения преобразователя напряжения в ток.

## Критерии выбора элементной базы

### Транзисторы

При выборе транзистора VT2 необходимо учитывать, что ток коллектора должен превышать максимальный ток пациента ( $I_{\max \text{ пац.}} = 55 \text{ мА}$ ). Коэффициент запаса принимается равным 0,8.

Выбор транзистора должен осуществляться по параметрам максимально близко к указанным, например, выбор транзистора с током существенно больше указанного, чреват большим током утечки при закрытом транзисторе сопоставимым с величиной рабочего тока, например 1-5 мА.

Рабочее напряжение коллектор-эмиттер выбирается с учетом величины напряжения на электродах при максимальном сопротивлении пациента. Кроме того, поскольку транзистор работает с токоизмерительным резистором в эмиттерной цепи, то к рассчитанному напряжению необходимо добавить максимальное падения напряжения на этом резисторе. В линейном режиме между коллектором и эмиттером напряжение должно превышать напряжение насыщения более чем на 1 В. Суммируя все эти величины получим рабочее напряжение коллектор-эмиттер.

Поскольку в схеме применен составной транзистор, у которого коэффициент передачи примерно равен произведению  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , то жестких требований к коэффициенту усиления  $\beta_1$  нет.

Максимально допустимая мощность рассеивания достигается при максимальном токе пациента в режиме короткого замыкания, которое можно возникнуть при соприкосновении электродов:

$$P_K = U_{K \max} * I_{K \max}.$$

При расчете параметров транзистора VT1 учитывается, что его напряжение равно напряжению транзистора VT2.

Ток коллектора:

$$I_{K \text{ VT1}} = I_{K \text{ VT2}} / \beta_2.$$

Мощность коллектора:

$$P_{K \text{ VT1}} = P_{K \text{ VT2}} / \beta_2.$$

## Операционные усилители

Требования к операционному усилителю (ОУ) определяются характеристиками функционального узла. При выборе усилителя обращают внимание на следующие параметры: полоса пропускания, скорость нарастания сигнала на выходе, амплитуда выходного сигнала и диапазон, максимальный ток или сопротивление нагрузки, диапазон синфазных и дифференциальных входных сигналов, входные токи и т.д.

Практически любой современный ОУ пригоден для работы в данной схеме при выбранном способе его питания за исключением низковольтных усилителей с суммарным напряжением питания меньше 20 В. Однако существуют операционные усилители, у которых диапазон синфазных входных напряжений ограничивается на уровне  $\pm 7\text{В}$  при напряжениях питания  $\pm 15\text{В}$ , подобные для работы в данной схеме не пригодны. Важнейшим требованием применяемого ОУ является малая величина входных токов (что связано с применением на входе усилителей фильтров с большой постоянной времени и малыми габаритами высококачественных конденсаторов, керамика).

## Конденсаторы

Основные параметры конденсаторов: номинальная емкость, допустимое отклонение, рабочее напряжение, утечка. Допустимые отклонения не хуже  $\pm 50\%$ , так как схема низкочастотная, времена переходных процессов около 1с.

Рабочее напряжение определяется напряжением питания с запасом.

### **Диоды**

Основными параметрами при выборе диодов являются величина максимально допустимого обратного напряжения и максимально допустимого прямого тока, импульсного прямого тока, быстродействие, которое определяется временем восстановления обратного сопротивления. Для некоторых измерительных схем имеет значение величина максимально допустимого обратного тока.

### **Стабилитроны**

При выборе стабилитрона необходимо учитывать следующие параметры: номинальное напряжение стабилизации, отклонение от номинального значения, максимально допустимая рассеиваемая мощность, номинальный ток стабилизации и дифференциальное сопротивление стабилитрона. В данной конкретной схеме важным параметром является напряжение стабилизации.

### **Алгоритм выполнения заданий**

1. Изучить электрическую принципиальную схему узла/модуля электронного устройства.

2. Составить и привести в отчете описание схемы с указанием назначения ее элементов в следующем формате:

Резисторы R7, R9, R10 - цепь смещения, используемая для компенсации ненулевого начального тока;

... ;

Стабилитрон VD2 предназначен для ограничения максимального тока пациента при сбое программы МК или аварии в цепи задатчика.

3. Выписать классификацию, основные параметры и характеристики всех типов элементов на схеме, сформулировать

основные критерии выбора. Сформулировать ответ в отчете в следующем формате:

**Классификация резисторов:** по способу монтажа, ...

**Основные параметры резисторов:**

Таблица 3.1 - Основные параметры резисторов

Параметры	Значения			
	R1	R2	R3	...
Номинальное сопротивление				
Допустимые отклонения от номинала				
Номинальная мощность рассеивания				
...				

В таблице 3.1 на данном этапе заполняется только первый столбец.

**Критерии выбора резистивных элементов:**

Резисторы выбираются исходя из рассеиваемой мощности и требуемого класса точности. Рассматриваемая схема построена так, что в ней используется минимальное количество прецизионных резисторов (класс точности 0,5). Данное требование относится к резисторам в цепи эмиттера VT2, в рассматриваемой схеме — это резисторы R11, R12, R13....

К точности поддержания тока имеется требование не хуже 1%, поскольку погрешность разделяется между узлом формирования тока пациента ОУ, VT2, VT1 и задатчиком тока, то погрешность делится примерно поровну.

Мощность каждого резистора определяется как  $P=U^2/R$ . Для быстрой оценки можно считать, что резисторы с номиналом, превышающие 10 кОм, рассеивают мощность меньше 60 мВт, т.е. можно применять резисторы 62,5 или 125 мВт.

При выборе способа монтажа учитываются технологические возможности производства.

4. Определить и сформулировать требования к параметрам и характеристикам компонентов электрической схемы. Заполнить столбец значений в таблице 3.1.

Сформулировать ответ в отчете в следующем формате:

**Резисторы:**

$$P_{R1} = \dots \text{ Вт},$$

...

Резистор R7 имеет сопротивление 1 МОм, поэтому расчет мощности для данного резистора не целесообразен;

...

Резисторы R11, R12, R13 – параллельное соединение резисторов ( $R_{\text{общ}} = \dots \text{ Ом}$ ), максимальный общий ток в цепи (ток пациента) = 55 мА, отсюда определим напряжение  $U = \dots \text{ В}$ , соответственно мощности на резисторах равна

$$P_{R11} = \dots \text{ Вт},$$

$$P_{R12} = \dots \text{ Вт},$$

$$P_{R13} = \dots \text{ Вт}.$$

Все резисторы кроме R11, R12, R13 могут иметь класс точности 10%.

### **Транзистор VT2:**

$$I_{k \text{ max}} = \dots;$$

$$\text{Напряжение на электродах } U_{\text{эл}} = \dots;$$

Падение напряжение на токоизмерительных резисторах в цепи эмиттера  $U_{R\text{э}} = \dots;$

Так как в линейном режиме между коллектором и эмиттером напряжение должно превышать напряжение насыщения  $U_{\text{нас}}$  более 1 В, то рабочее (суммарное) напряжение коллектор-эмиттер  $U_{\text{КЭ раб}} = \dots;$

Максимально допустимая мощность рассеивания  $P_{\text{к}} = \dots .$

**Операционный усилитель DA1A** вводит обратную связь по току, стабилизируя ток пациента в течении сеанса. Важнейшим требованием применяемого ОУ является малая величина входных токов. В связи с этим сопротивление на входе ОУ превышает ... кОм, а допустимая ошибка за счет входного тока, не должна быть больше 10мВ.

$$I_{\text{вх min}} = \dots .$$

### **Конденсаторы:**

C1 – фильтрует напряжение на измерительном резисторе в цепи пациента (напряжение в этой цепи ... В), поэтому рабочее напряжение ... В.

C2: напряжение в цепи ... В, рабочее напряжение должно превышать ... В +10%. Ток утечки можно не регламентировать, т.к. это цепь питания.



C3 – конденсатор малой емкости, особенность технологии определяет большую толщину диэлектрика, а потому рабочие напряжения таких конденсаторов не менее ... В.

C4 и C8 - конденсаторы фильтра, максимальное напряжением может достигать ... В. Требования к токам утечки данных конденсаторов жесткие, поэтому следует использовать высококачественные керамические конденсаторы. Сопротивление утечки должно превышать 100 МОм, т.к. они находятся в цепи отслеживания (управления) тока пациента.

C5: напряжение - ... В.

C6 - фильтр питания в цепи ... В, рабочее напряжение выбирается с запасом ... В (т.к. рабочее отклонение источников питания может достигать  $\pm 10\%$  и плюс запас);

Утечки конденсаторов C5 и C6 - ..., т.к. это цепи питания.

**Реле** выбирается с напряжением срабатывания не более 4,5 В и не менее одной группы контактов. Ток срабатывания электромагнитного реле – до 100 мА.

**Диод VD1 и транзистор VT3 (указать назначение цепи):** транзистор и диод должны быть рассчитаны на ток срабатывания электромагнитного реле (до ... мА).

$I_{к VT3}$  не менее ... ;

$I_{max пр. VD1}$  не менее ... .

**Стабилитрон VD2** предназначен для ограничения максимального тока пациента при сбое программы МК или аварии в цепи задатчика (например, отказ операционного усилителя), поскольку в цепи управления транзисторами установлен резистор ... кОм, то этот резистор и стабилитрон образуют параметрический стабилизатор.

Для того, чтобы обеспечить ток пациента (коллекторный ток транзистора) - ... мА, эмиттерный ток должен быть равен 50 мА, при этом падение напряжения на резисторах обратной связи (R11, R12, R13) в цепи эмиттера будет равно ... В.

На управляющем электроде при этом напряжение будет больше на величину равную удвоенному значению падения напряжения на база-эмиттерном переходе (напряжение на БЭ переходе... В) - ... В.

Таким образом максимальное напряжение на базе транзистора VT1  $U_{\max}$  должно быть ограничено величиной ... В.

Выбираем стабилитрон по напряжению стабилизации – ... В.

5. Осуществить сбор и анализ технической документации на элементную базу электрической схемы устройства. Изучить техническую документацию, познакомиться с нормируемыми параметрами и характеристиками, при необходимости дополнить таблицу 3.1. Сформулировать критерии выбора. Составить и заполнить таблицы 3.1А-3.1Х, в которые занести результаты поиска электронных компонентов.

Сформулировать ответ в отчете в следующем формате:

Критерии выбора: ...

В таблицах 3.1А-3.1Х сведены результаты выбора электронных компонентов схемы.

Таблица 3.1А – Выбора резистивных элементов

	Производитель 1	Производитель 2	Производитель 3
R1	Наименование, параметры, цена	Наименование, параметры, цена	Наименование, параметры, цена
R2	...	...	...
...	...	...	...

Таблица 3.1Б – Выбор емкостных элементов

	Производитель 1	Производитель 2	Производитель 3
C1	Наименование, параметры, цена	Наименование, параметры, цена	Наименование, параметры, цена
C2	...	...	...
...	...	...	...

### Варианты заданий

Схемы электрические принципиальные узлов и модулей электронных устройств выдаются преподавателем, также варьируется способ монтажа.

## Форма отчета обучающегося

1. Описание схемы с указанием назначения ее элементов.
2. Параметры электронных компонентов схемы и критерии выбора элементной базы;
3. Заполненные таблицы 3.1 и 3.2А-3.2Х;
4. Выводы;
5. Письменные ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Перечислите основные параметры резистивных элементов.
2. Как классифицируются резистивные элементы?
3. Объясните особенности цветовой маркировки резисторов.
4. Как классифицируют конденсаторы и какие их типичные конструкции вы знаете?
5. Какими основными параметрами характеризуются конденсаторы?
6. По какому признаку классифицируют реле?
7. Приведите примеры условного графического изображения полупроводниковых приборов.
8. Назовите критерии выбора резистивных элементов?
9. Назовите критерии выбора конденсаторов?
10. Перечислите параметры операционных усилителей.
11. Сформулируйте критерии выбора операционных усилителей.
12. Перечислите параметры полупроводниковых выпрямительных диодов.
13. Сформулируйте критерии выбора полупроводниковых выпрямительных диодов.
14. Перечислите параметры стабилитронов.
15. Сформулируйте критерии выбора стабилитронов.
16. Назовите этапы выбора элементной базы при проектировании электронных средств.
17. Перечислите параметры транзисторов.
18. Сформулируйте критерии выбора транзисторов.

19. Для каких номинальных сопротивлений резисторов можно пренебречь оценкой мощности и почему?

20. Сформулируйте критерии выбора электронного компонента схемы с известными параметрами из числа основных производителей.

## Практическое занятие №4 «Составление перечня элементов»

### Методические рекомендации по выполнению заданий

Каждая схема должна быть снабжена перечнем элементов. Его помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа (рисунок 4.1) в форме таблицы, заполненной сверху вниз. Если *таблицу* помещают на первом листе схемы, то ее располагают, как правило, *над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм*. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, в этом случае заголовки таблицы повторяют.

В графах перечня указывают следующие данные (см. рис. 4.1):

- в графе «Поз. обозначение» — позиционное обозначение элемента. Таблицу заполняют по группам *в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений (латинский алфавит)*. В пределах каждой группы элементы располагают по возрастанию порядковых номеров;

- элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в одну строку. При этом в графу «Поз. обозначение» вписывают только обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например С2 ... С5, а в графе «Кол.» — общее количество этих элементов;

- в графе «Наименование» — наименование элемента схемы;

- при записи элементов, имеющих одинаковые буквенные коды, для упрощения заполнения перечня элементов допускается не повторять наименования элементов (например, резистор, конденсатор и т.д.), а проставлять в графе «Наименование» знак « — " — » или записывать эти наименования в виде заголовка (см. рис. 4.2);

- в графе «Кол.» — количество одинаковых элементов;

— в графе «Примечание» — при необходимости технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании.

Перечень на разные ЭРЭ записываются следующим образом:

***Конденсаторы электролитические.***

B41827-25B-47 мкФ  $\pm 20\%$  (B41827A5476M000) Epcos.

Тип–Напряжение–Емкость–Допуск (номер кода заводского заказа (для отечественных ТУ)-Фирма.

***Конденсаторы прочие.***

CC 0805-50B-0,1 мкФ $\pm 10\%$ -X7R (CC0805KRX7R9BB104) Yageo.

Тип–Напряжение–Емкость–Допуск–Тип диэлектрика - (номер кода заводского заказа (для отечественных ТУ)-Фирма.

***Микросхемы.***

LP2950CDT-5.0G ON Semiconductor.

Тип-Фирма.

***Резисторы.***

RC 0805-5,1 кОм  $\pm 5\%$  (RC0805JRF075K1) Yageo.

Тип–Мощность–Сопротивление–Допуск- (номер кода заводского заказа (для отечественных ТУ)-Фирма.

***Диоды, соединители, транзисторы.***

1N4148W PBF DC Components.

Тип-Фирма.

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выпускают на листах формата А4, основную надпись для текстовых документов выполняют по ГОСТ 2.104-68 (форма 2 — для первого листа и 2а — для последующих). В графе 1 основной надписи (см. рис. 1) указывают наименование изделия, а под ним, шрифтом на один номер меньше, записывают «Перечень элементов». Код перечня элементов должен состоять из буквы «П» и кода схемы, к которой выпускают перечень, например, код перечня элементов к электрической принципиальной схеме — ПЭЗ.

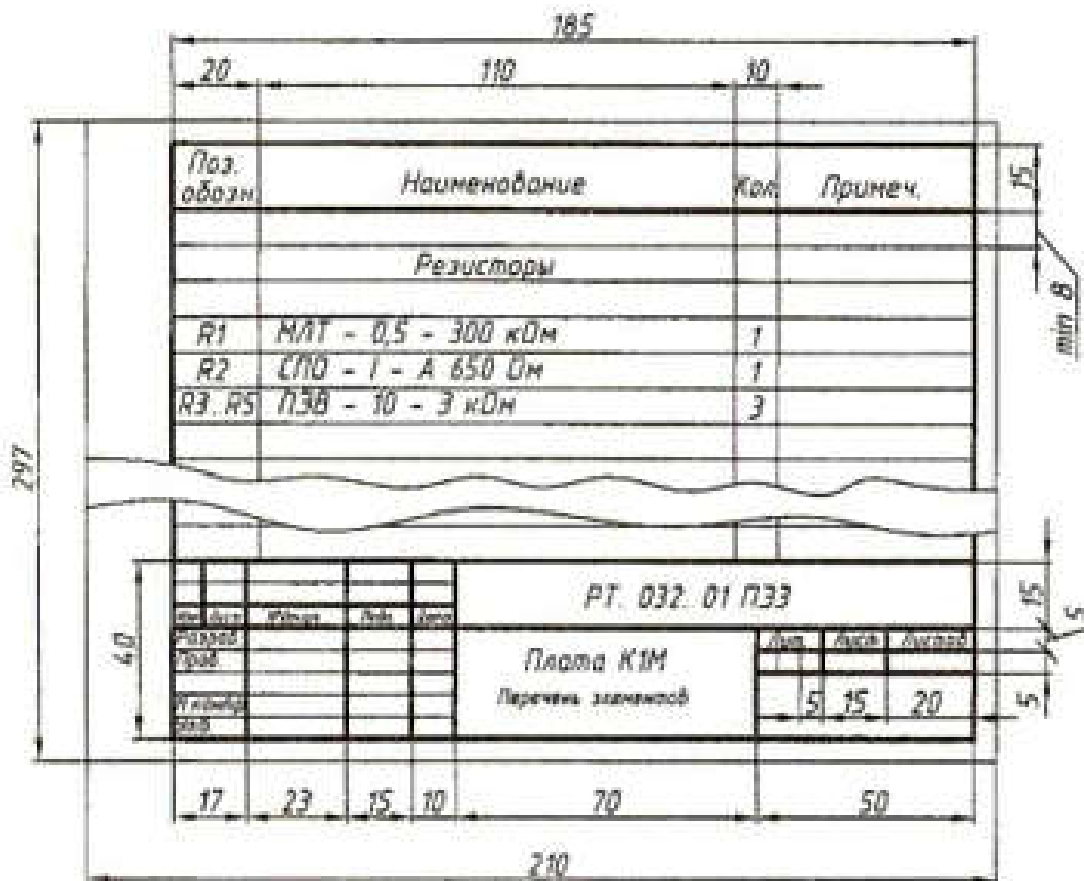


Рисунок 4.1

Схемы выполняются согласно ГОСТ 2.701–84 без соблюдения масштаба на форматах, установленных ГОСТ 2.301–68, с использованием условных графических обозначений (УГО), установленных в стандартах ЕСКД, а также прямоугольников и упрощённых внешних очертаний. Элементы, входящие в изделие и показанные на схеме, должны иметь обозначения (буквенные, цифровые или буквенно-цифровые) в соответствии со стандартами на правила выполнения конкретных видов схем и включаться в перечень элементов, размещённый на первом листе схемы или выполненный в виде самостоятельного документа.

Правила по составлению перечня элементов устанавливает ГОСТ 2.701–84. Занесение элементов в перечень производится группами по алфавитному порядку буквенных позиционных обозначений. Внутри каждой группы с одинаковыми буквенными позиционными обозначениями, элементы размещают по возрастанию порядковых номеров. При использовании на схеме цифровых обозначений в перечень их заносят в порядке возрастания. При использовании

однотипных элементов с одинаковыми параметрами, имеющими на схеме последовательные порядковые номера, допускается заносить их в перечень в одну строку, т.е. в графу «Поз. обозначение» записывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например, VT3, VT4, DD8...DD12, а в графу «Кол.» – общее число таких элементов.

При занесении в перечень элементов с одинаковым наименованием и буквенным позиционным обозначением, но отличающихся техническими характеристиками и другими данными, допускается в графе «Наименование» записывать общее наименование этих элементов, а в общем наименовании – наименование, тип и обозначение документа, на основании которого эти элементы применены.

Следует заметить, при внесении в перечень на отечественную элементную базу указывают технические условия или государственные стандарты (например, стабилитрон 2С156А СМЗ.362.805 ТУ), а на импортную – название производителя, например, микросхема ADM213EARS Analog Devices и т.п.

С другими видами документации можно ознакомиться по ЕСКД. Пример перечня элементов представлен в ПРИЛОЖЕНИИ Б.

### **Алгоритм выполнения заданий**

1. Изучить теоретический материал;
2. Выписать в отчет правила заполнения перечня элементов согласно ГОСТ для различных групп электронных компонентов схемы;
3. Составить перечень элементов для электрической принципиальной схемы (рисунок 4.2).

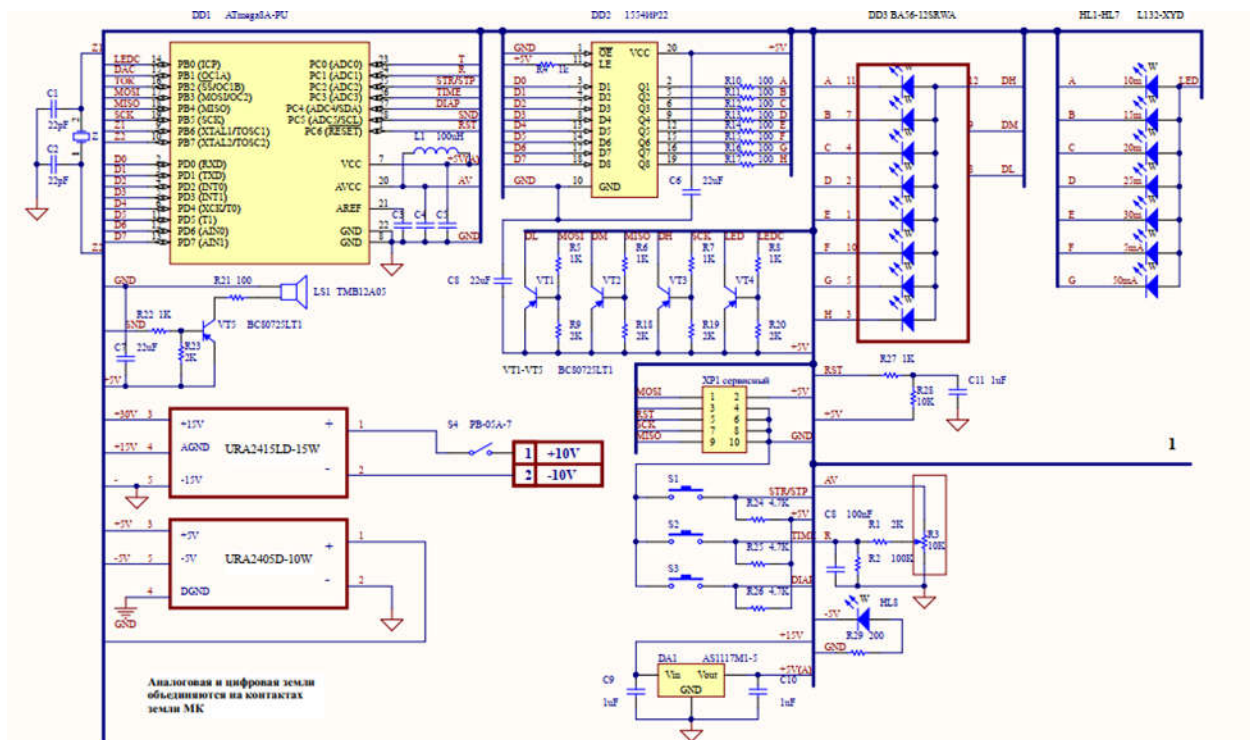


Рисунок 4.2 – Электрическая принципиальная схема цифрового узла электрофореза

## Варианты заданий

Схемы электрические принципиальные узлов и модулей электронных устройств выдаются преподавателем.

## Форма отчета обучающегося

1. Правила заполнения перечня элементов согласно ГОСТ для различных групп электронных компонентов схемы;
2. Перечень элементов электрической принципиальной схемы;
3. Письменные ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Как присваиваются порядковые номера элементам?
2. Какие нормативные документы регламентируют правила составления перечня элементов?



2. Где помещают перечень элементов?
3. Что указывается в графах перечня?
4. Как оформляется основная надпись перечня элементов?
5. Какие нормативные документы регламентируют правила оформления основной надписи перечня элементов?
6. Какая информация об элементах указывается в перечне элементов?
7. Какая информация указывается в перечне элементов на конденсаторы?
8. Какая информация указывается в перечне элементов на резисторы?
9. Какая информация указывается в перечне элементов на диоды?
10. Какая информация указывается в перечне элементов на транзисторы?
11. Какая информация указывается в перечне элементов на микросхемы?
12. Отличаются ли правила заполнения перечня элементов для иностранной и российской элементной базы? Если да, то чем?

## **Практическое занятие №5 «Выбор способа охлаждения»**

### ***Тепловая модель***

Конструкция ЭВС в теплофизическом отношении представляет собой очень сложную систему с большим количеством источников тепла, с границами неправильной формы. Полную систему уравнений теплообмена для реальной аппаратуры часто невозможно решить аналитически.

Анализ теплового режима узлов и блоков ЭВС базируется на учете наиболее существенных черт конструкции данного узла или блока и протекающих в них физических процессов, т.е. основана на идеализации объекта. Такой идеализированный объект представляет собой тепловую модель, а математическое описание процесса переноса тепловой энергии – математическую модель. Тепловая модель узла или блока должна быть адекватна изучаемому явлению и реализуема математически.

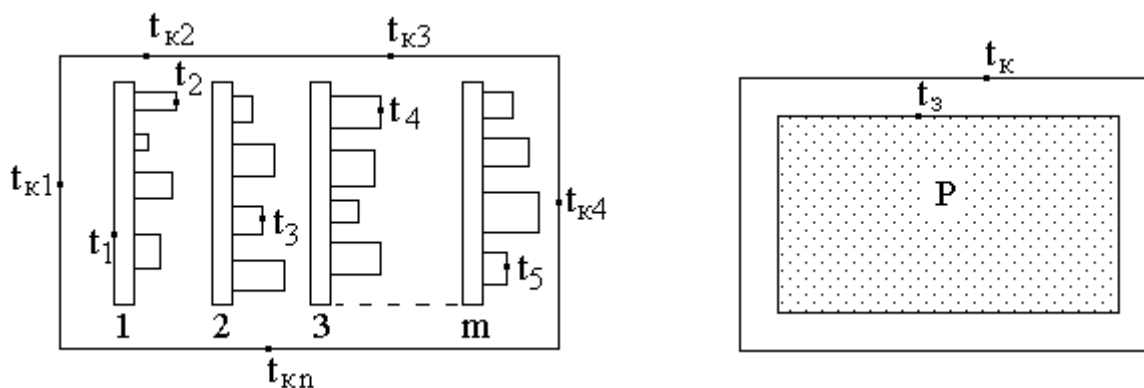
При построении тепловой модели блока платы или пакет плат с радиоэлементами принимают за одно тело с изотермической поверхностью (нагретую зону), для которого и производится расчет теплового режима. Предполагается установление равновесия количества подводимой и отводимой тепловой энергии и независимость распределения температуры от времени.

В зависимости от конкретной задачи исследования к изотермическим поверхностям конструкций относят поверхность корпуса со среднеповерхностной температурой  $t_k$ , поверхность нагретой зоны с температурой  $t_3$ , поверхность отдельной функциональной ячейки с температурой  $t_{яi}$ , поверхность отдельного радиоэлемента с температурой  $t_{эi}$  и т.д.

Пример построения тепловой модели конструкции блока разъемного типа приведен на рис. 5.1.

Как следует из рисунка, среднеповерхностные температуры представляют собой среднеарифметические значения реальных температур в различных точках поверхности, т.е.

$$t_k = \sum_{i=1}^n t_{ki} / n; t_3 = \sum_{i=1}^s t_{3i} / S, \text{ и т.д.}$$



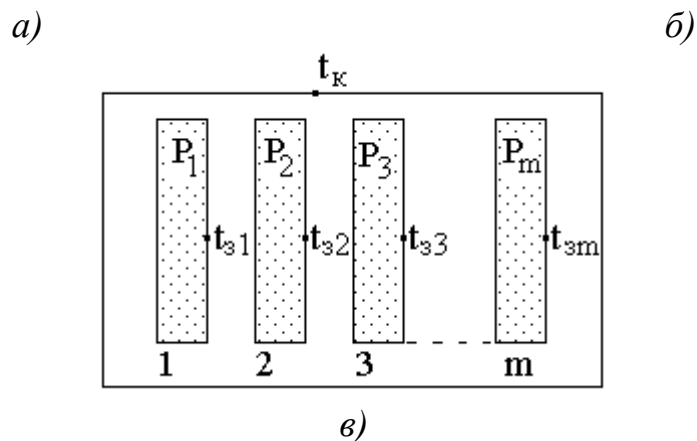


Рисунок 5.1 - Пример построения тепловой модели: *а* - схематическое изображение конструкции; *б* – модель для определения среднеповерхностной температуры нагретой зоны, где  $P$  – мощность, выделяемая в нагретой зоне; *в* – модель для определения среднеповерхностных температур функциональных ячеек, где  $P_1, P_2, \dots, P_m$  – мощности, выделяемые в функциональных ячейках

Детализация тепловой модели дает возможность довести решение до определения температуры отдельного радиоэлемента, однако при этом резко возрастает сложность задачи.

### *Характеристика систем охлаждения*

Под системой охлаждения понимают совокупность устройств и конструктивных элементов, используемых для уменьшения локальных и общих перегревов.

Системы охлаждения принято классифицировать по следующим признакам: по типу применяемого холодоносителя (воздух, жидкость, хладагент); по виду физического явления, используемого для обеспечения процесса охлаждения (конвекция, теплопроводность, испарение, излучение); по месту получения холода и подготовки холодоносителя (централизованное, автономное, местное, локальное); по способу регулирования (количеством подаваемого холодоносителя, изменением температуры подаваемого холодоносителя, количеством и температурой холодоносителя одновременно).

По типу применяемого холодоносителя наиболее широкое применение получило воздушное охлаждение вследствие доступности

и экономической выгоды такого холодоносителя, как воздух в условиях естественной и принудительной конвекции.

В жидкостных системах охлаждения холодоносителем являются различные капельные жидкости, не доведенные до кипения, а передача теплоты от тепловыделяющих элементов происходит в основном конвекцией.

В жидкостно-испарительных системах используются легкокипящие жидкости и жидкости, доведенные до кипения.

В кондуктивных системах передача теплоты к ее стоку осуществляется в основном теплопроводностью по кондуктивным теплоотводам, являющимися конструктивными элементами конструкции ЭВС и системы охлаждения.

В комбинированных системах используются сочетания различных способов передачи теплоты.

### ***Выбор способа охлаждения***

Выбор способа обеспечения нормального теплового режима, а также системы охлаждения ЭВС, как правило, производится на ранних стадиях разработки. Выбранный способ охлаждения должен обеспечить нормальный тепловой режим конструкции ЭВС. Под нормальным тепловым режимом понимается выполнение следующих условий: температура всех деталей и узлов конструкции при заданных условиях эксплуатации не должна превышать предельно допустимых температур, указанных в ТУ на детали и узлы; температуры всех деталей и узлов конструкции должны быть таковы, что обеспечивается работа устройства с заданной точностью и надежностью.

Выбор системы охлаждения производится по графикам (рис.1.8.2), которые ограничивают области целесообразного применения того или иного способа охлаждения. Эти области построены по результатам обработки статистических данных о показателях тепловых режимов реальных конструкций, расчетов показателей тепловых режимов по тепловым моделям и экспериментальных данных, полученных на макетах.

Основным показателем, определяющим области целесообразного применения способа охлаждения (рис.5.2), является плотность теплового потока

$$q_s = P/S, \quad (5.1)$$

где  $P$  – мощность, выделяемая внутри объема, ограниченного поверхностью теплообмена, Вт;  $S$  – площадь поверхности теплообмена.

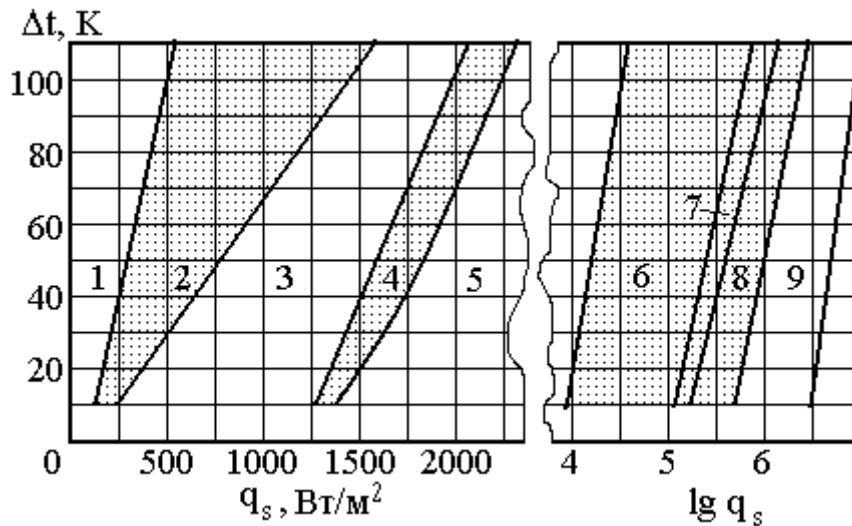


Рисунок 5.2. - Диаграмма выбора способа охлаждения: 1 – естественное воздушное; 2 – естественное и принудительное воздушное; 3 – принудительное воздушное; 4 – принудительное воздушное и жидкостное; 5 – принудительное жидкостное; 6 – принудительное жидкостное и естественное испарительное; 7 – принудительное жидкостное, принудительное и естественное испарительное; 8 – естественное и принудительное испарительное; 9 – принудительное испарительное

Вторым показателем является допустимый перегрев в конструкции

$$\Delta t_{don} = t_{\text{э min}} - t_c, \quad (5.2)$$

где  $t_{\text{э min}}$  – допустимая рабочая температура наименее теплостойкого радиоэлемента;  $t_c$  – температура окружающей среды.

Для естественного воздушного охлаждения  $t_c = t_{c \text{ max}}$ , т.е. соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ. Для принудительного охлаждения  $t_c = t_{\text{ex}}$ , т.е. соответствует температуре воздуха (жидкости) на входе системы охлаждения.

Значения  $q_s$  и  $\Delta t$  являются координатами точки, попадающей в одну из областей (рис. 5.2), каждой из которых соответствует один (незаштрихованная область) или несколько способов охлаждения (заштрихованная область). Для заштрихованных областей диаграммы, где возможно использование двух или трех различных способов охлаждения, способ охлаждения уточняется на более поздних этапах конструирования.

### **Алгоритм выполнения заданий**

1. Определить область целесообразного применения способа охлаждения (рис. 5.2) при следующих условиях:

- размеры нагретой зоны

$$L_1=150+10N; L_2=180+10N; L_3=220+10N, \text{ мм};$$

- допустимый перегрев

$$\Delta t_{\text{дон}}=40^\circ\text{C};$$

- мощность, выделяемая внутри нагретой зоны:

$$P = (228,557N - 228,357) \cdot 10^3, \text{ Вт};$$

где  $N$  – номер варианта, задаваемый преподавателем.

Результаты расчетов показателей, определяющих область целесообразного применения способа охлаждения, привести в виде таблицы.

Размеры нагретой зоны, м			$P, \text{ Вт}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$q_s, \text{ Вт/м}^2$
$L_1$	$L_2$	$L_3$			

2. Дать характеристику способа охлаждения.

### **Контрольные вопросы**

1. Порядок построения тепловой модели блока.
2. Охарактеризуйте тепловую модель блока. Какие принимаются допущения?
3. Что относят к изотермическим поверхностям конструкций?
4. Приведите тепловую модель конструкции блока разъемного типа.
5. Что понимают под системой охлаждения?

6. Классификация систем охлаждения.
7. Какие жидкости используются в различных типах систем охлаждения?
8. Что понимается под нормальным тепловым режимом?
9. Показатели, определяющие области целесообразного применения способа охлаждения.
10. Особенности определения способа охлаждения по диаграмме.

## **Практическое занятие №6 «Оценка теплового режима ЭВС коэффициентным методом при воздушном охлаждении»**

### *Коэффициентный метод расчета теплового режима*

При создании методики коэффициентного расчета применяются экспериментальные данные по тепловым режимам реальной аппаратуры различного конструктивного исполнения. Исследование теплового режима конструкции ЭВС состоит в определении температуры  $t$  в некоторой точке и температурного перегрева  $\Delta t$  относительно окружающей среды.

Перегрев  $\Delta t$  в устройстве можно определить по формуле

$$\Delta t = \Delta t_0 \prod_{i=1}^n K_i, \quad (6.1)$$

где  $K_i$  - поправочные коэффициенты, учитывающие различные факторы, влияющие на условия теплообмена, причем каждый коэффициент зависит только от одного параметра;  $\Delta t_0$  – перегрев для типичного устройства рассматриваемого класса с фиксированными значениями параметров;  $n$  – число поправочных коэффициентов.

Средняя квадратичная погрешность данного метода в различных классах устройств разная, но примерно соответствует следующим значениям: для корпуса ~ 8%; для нагретой зоны ~ 15%; для максимальных значений температур ~ (15 – 20%). Такая точность является вполне удовлетворительной для технических целей. Дальнейшее увеличение точности связано с большой детализацией и усложнением расчета и не всегда бывает оправданным. Исследования показали, что в рассматриваемых задачах возможно снизить погрешность примерно вдвое, но громоздкость расчета и количество исходных параметров

увеличивается примерно на порядок, а общность метода значительно снижается.

### ***Оценка теплового режима ЭВС в герметичном корпусе при естественном воздушном охлаждении***

Естественное воздушное охлаждение является основным средством охлаждения герметичной аппаратуры. Герметизация узлов может вызываться различными обстоятельствами: бескорпусной элементной базой; наличием элементов, не предназначенных для работы при низких барометрических давлениях; защитой от возможных электрических пробоев при низких барометрических давлениях; необходимостью предохранения элементов от попадания пыли, влаги, кислот, заряженных частиц и т.п.

Обеспечение нормального теплового режима герметичных конструкций является очень сложной задачей, так как значения тепловых сопротивлений в таких конструкциях удваиваются, поскольку естественная конвекция присутствует в них дважды: внутри блока от элементов к корпусу и снаружи от корпуса в окружающую среду. Если наружное тепловое сопротивление можно уменьшить увеличением теплоотдающей поверхности ребрением или введением обдува наружных поверхностей корпуса, то возможности снижения внутреннего теплового сопротивления ограничены. Для этой цели возможна замена воздуха внутри блока другим газом с лучшими теплофизическими свойствами, например азотом, гелием, воздушно-гелиевой смесью. Наибольший эффект в снижении теплового сопротивления в 1,5 – 2 раза дает применение в качестве заполнителя объема шестифтористой серы (элегаз). Поскольку эффективность теплоотдачи конвекцией зависит от давления газа, то целесообразно внутри герметичного блока создавать избыточное давление. Необходимо учитывать, что при естественной воздушной конвекции большое значение имеет тепловое излучение. Поэтому необходимо, чтобы все теплоотдающие и тепловыделяющие поверхности, в первую очередь корпуса аппаратуры, имели высокую степень черноты.

При компоновке необходимо стремиться к равномерному распределению выделяемой мощности по всему объему устройства.



Компоненты и узлы с большими тепловыделениями необходимо располагать в верхней части корпуса или вблизи стенок, критичные к перегреву компоненты – в нижней части, защищать тепловыми экранами.

### Порядок расчета

Рассчитывается поверхность блока по формуле

$$S_k = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3], \quad (6.1)$$

где  $L_1$ ,  $L_2$  - горизонтальные размеры корпуса;  $L_3$  - вертикальный размер корпуса.

Определяется условная поверхность нагретой зоны:

$$S_3 = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3K_3], \quad (6.2)$$

где  $K_3$  - коэффициент заполнения объема корпуса.

Определяется удельная мощность корпуса блока:

$$q_k = P_3 / S_k, \quad (6.3)$$

где  $P_3$  - мощность, выделяемая в нагретой зоне.

Рассчитывается удельная мощность нагретой зоны:

$$q_3 = P_3 / S_3. \quad (6.4)$$

Находится коэффициент  $K_1$ , зависящий от удельной мощности, выделяемой в корпусе:

$$K_1 = 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3. \quad (6.5)$$

Находится коэффициент  $K_2$ , зависящий от удельной мощности, выделяемой в нагретой зоне:

$$K_2 = 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3. \quad (6.6)$$

Находится коэффициент  $K_{H1}$ , зависящий от давления среды вне корпуса блока:

$$K_{H1} = 0,82 + 1/(0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5}H_1), \quad (6.7)$$

где  $H_1$  - атмосферное давление снаружи корпуса блока.

Находится коэффициент  $K_{H2}$ , зависящий от давления  $H_2$  внутри корпуса блока:

$$K_{H2} = 0,80 + 1/(1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5}H_2). \quad (6.8)$$

Определяется перегрев  $\Delta t_k$  корпуса блока:

$$\Delta t_k = K_1K_{H1}. \quad (6.9)$$

Рассчитывается перегрев  $\Delta t_3$  нагретой зоны:

$$\Delta t_3 = \Delta t_k + (K_2 - K_1)K_{H2}. \quad (6.10)$$

Определяется средний перегрев  $\Delta t_v$  воздуха в блоке:

$$\Delta t_6 = 0,57(\Delta t_k + \Delta t_3). \quad (6.11)$$

Определяется удельная мощность элементов, находящихся в нагретой зоне :

$$q_{эл} = P_{эл} / S_{эл}, \quad (6.12)$$

где  $P_{эл}$  - мощность, рассеиваемая элементом (узлом), температуру которого требуется определить;  $S_{эл}$  - площадь поверхности элемента, обдуваемая воздухом.

Рассчитывается перегрев поверхности элемента:

$$\Delta t_{эл} = \Delta t_3[A + B(q_{эл} / q_3)], \quad (6.13)$$

где  $A = 0,75$ ,  $B = 0,25$ .

Рассчитывается перегрев окружающей элемент среды:

$$\Delta t_{эс} = \Delta t_6[A + B(q_{эл} / q_3)]. \quad (6.14)$$

Определяется температура корпуса блока:

$$T_k = \Delta t_k + T_c, \quad (6.15)$$

где  $T_c$  - температура окружающей блок среды.

Определяется температура нагретой зоны:

$$T_3 = \Delta t_3 + T_c. \quad (6.16)$$

Находится температура поверхности элемента:

$$T_{эл} = \Delta t_{эл} + T_c. \quad (6.17)$$

Находится средняя температура воздуха в блоке:

$$T_6 = \Delta t_6 + T_c. \quad (6.18)$$

Находится температура окружающей элемент среды:

$$T_{эс} = \Delta t_{эс} + T_c. \quad (6.19)$$

### ***Оценка теплового режима ЭВС в перфорированном корпусе при естественном воздушном охлаждении***

В случаях, когда герметичность конструкции не является обязательным условием, целесообразно осуществлять перфорирование корпуса. При перфорированном корпусе конвективный теплообмен в основном происходит между элементами ЭВС и окружающей средой, проникающей сквозь перфорацию. Количество протекающего воздуха будет зависеть от площади

перфорации и разницы между плотностью воздуха на входе и выходе блока. В то же время увеличение мощности, отводимой в протекающий воздух при увеличении площади перфорационных отверстий, будет наблюдаться только до определенных пределов. Увеличение площади отверстий приводит к уменьшению площади корпуса и, следовательно, к уменьшению мощности лучеиспускания. Уменьшение поверхности контактирования с окружающим воздухом в конечном итоге может привести к снижению мощности, отводимой протекающим воздухом.

Как показывает практика, оптимальное соотношение между площадью отверстий и поверхностью корпуса лежит в пределах 20 – 30%.

Перфорации могут быть различных видов: отверстия, жалюзи, сетки и т.п. Форма отверстий может быть различной, но при квадратных отверстиях увеличивается отношение между площадью отверстий и площадью перемычек, что благоприятно сказывается на эффективности охлаждения. Размеры отверстий могут быть следующими: круглые отверстия могут иметь диаметры 4, 6, 8 и 10 мм; квадратные - 4x4 мм; прямоугольные - 3x25, 4x50 мм. Чем меньше размеры вентиляционных отверстий, тем меньше вероятность попадания внутрь ЭВС внешних помех.

Перфорации целесообразно располагать на горизонтальных поверхностях, отстоящих друг от друга на максимальном расстоянии, в идеале на крышке и дне корпуса. При этом для обеспечения возможности свободного подхода к аппаратуре охлаждающего воздуха дно корпуса должно быть приподнято над базовой поверхностью на 20 – 30 мм. В иных случаях допускается перфорировать боковые стенки, но при этом перфорации следует располагать на расстоянии от дна или крышки не более  $\frac{1}{4}$  высоты корпуса.

Когда толщина стенок корпуса не обеспечивает необходимой жесткости, вместо отверстий применяют жалюзи.

С внутренней стороны корпуса вентиляционные отверстия часто закрывают металлическими сетками. Вместо сеток в днище стоек устанавливают пылезащитные фильтры. Жалюзи в выключенном состоянии предохраняют аппаратуру от попадания внутрь пыли.

*Порядок расчета.*

Коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{H1}$ ,  $K_{H2}$  находятся в соответствии с формулами (1.9.5) – (1.9.8).

Рассчитываем степень перфорированности корпуса:

$$П = S_n / (2 \cdot L1 \cdot L2), \quad (6.20)$$

где  $S_n$  - площадь перфорационных отверстий на верхней и нижней плоскости корпуса.

Находим коэффициент  $K_n$  в зависимости от степени перфорации:

$$K_n = 0,29 + 1 / (1,41 + 4,95 \cdot П). \quad (6.21)$$

Находим перегрев нагретой зоны:

$$\Delta t_3 = 0,93 \cdot K_n \cdot [K_1 \cdot K_{H1} + (K_2 / 0,93 - K_1) \cdot K_{H2}]. \quad (6.22)$$

Определяем перегрев корпуса блока:

$$\Delta t_k = 0,93 \cdot K_1 \cdot K_{H1} \cdot K_n. \quad (6.23)$$

Определяем средний перегрев воздуха в блоке:

$$\Delta t_6 = 0,6 \cdot \Delta t_3. \quad (6.24)$$

Находим температуры корпуса блока, нагретой зоны и воздуха в блоке:

$$T_k = \Delta t_k + T_c; \quad (6.25)$$

$$T_3 = \Delta t_3 + T_c; \quad (6.26)$$

$$T_6 = \Delta t_6 + T_c, \quad (6.27)$$

где  $T_c$  - температура окружающей среды.

### **Оценка теплового режима ЭВС при принудительном воздушном охлаждении**

Принудительное воздушное охлаждение получило наибольшее распространение, так как позволяет при более высоких удельных мощностях рассеивания обеспечить нормальный тепловой режим ЭВС при относительной простоте и небольшой стоимости. Вместе с тем системы принудительного воздушного охлаждения имеют и ряд существенных недостатков, таких как наличие акустических шумов и вибрации, увеличение объема и массы, снижение надежности изделия и увеличение затрат мощности на охлаждение.

Конструкция, в которой используется принудительная воздушная вентиляция, должна обладать следующим требованиям:

- обладать малым аэродинамическим сопротивлением протекающему воздуху;

- обеспечивать хороший доступ холодного воздуха к теплонагруженным элементам;
- предотвращать попадание нагретого воздуха на теплочувствительные элементы;
- защищать внутренний объем от пыли;
- обеспечивать резервирование принудительного воздушного потока;
- осуществлять автоматическое отключение блока при выходе из строя системы принудительной вентиляции.

Различают три основные схемы принудительного воздушного охлаждения: внутреннее перемешивание, наружный обдув, продувку. При применении внутреннего перемешивания газа с помощью встроенного вентилятора к мощности, рассеиваемой в герметичном блоке, добавляется мощность электродвигателя вентилятора. Температура внутри блока снижается за счет интенсивности принудительного воздушного охлаждения. Кроме того, при этом значительно выравниваются температуры элементов внутри, что для некоторых классов аппаратуры является важным параметром. Внутреннее перемешивание и наружный обдув сочетают признаки принудительного и естественного охлаждения, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать схему охлаждения с продувкой.

При продувке воздух из окружающей среды или предварительно охлажденный в специальных устройствах (теплообменниках, кондиционерах и т.д.) пропускается через специальные каналы и охлаждают элементы ЭВС. На практике применяют три системы принудительного воздушного охлаждения: приточную, вытяжную и приточно-вытяжную (рис.6.1).

Приточная система характеризуется тем, что воздух под давлением, создаваемым вентилятором, поступает в аппаратуру, отбирает тепло от элементов и выбрасывается в окружающую среду или поступает в вытяжной воздуховод (коллектор). В вытяжной системе вентилятор устанавливается на выходе воздуха из аппаратуры. При этом он высасывает воздух из корпуса. В приточно-вытяжной системе вентиляторы устанавливают и на входе, и на выходе воздуха.

Каждая из систем обладает своими недостатками и достоинствами. Достоинством приточной системы является то, что воздух в аппаратуру подается с повышенным давлением, что

благоприятствует теплоотдаче внутри аппаратуры. Вместе с тем поступающий в шкаф воздух имеет более высокую температуру, так как он нагревается за счет части мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора. В вытяжной системе мощность вентилятора не оказывает влияние на температуру всасываемого в аппаратуру воздуха, однако этот воздух имеет давление несколько ниже нормального и поэтому менее эффективен как теплоноситель. Кроме того, в такой системе электродвигатель вентилятора находится в потоке горячего воздуха, выходящего из аппаратуры, и здесь следует обращать внимание на то, чтобы температура электродвигателя не превышала допустимую.

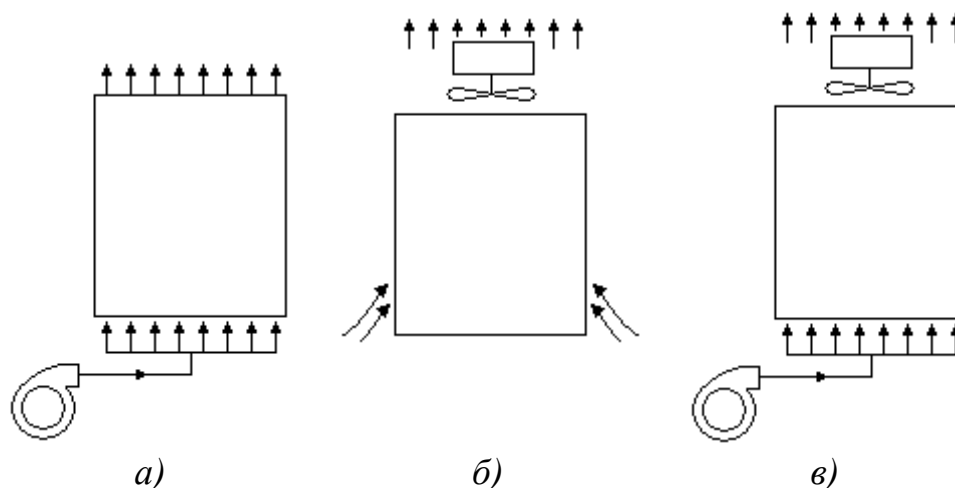


Рис.6.1. Системы принудительного воздушного охлаждения аппаратуры: *а* – приточная; *б* – вытяжная; *в* – приточно-вытяжная

Приточная и вытяжная системы имеют общий недостаток: они не препятствуют утечкам воздуха. В то же время применение приточно-вытяжной системы даже без изменения конструкции аппаратуры позволяет в несколько раз снизить утечки воздуха. Поэтому, несмотря на кажущуюся сложность приточно-вытяжной системы, применение ее экономически целесообразно.

При использовании коэффициентного метода оценки теплового режима для системы принудительного воздушного охлаждения делаются следующие допущения:

- температура окружающей среды  $-60 \div +60$  °С;
- температура охлаждающего воздуха на входе  $-20 \div +60$  °С;
- коэффициент заполнения  $0,1 \div 0,65$ ;

- мощность, рассеиваемая в блоке,  $5 \div 800$  Вт;
- массовый расход охлаждающего воздуха  $0,003 \div 0,25$  кг/с;
- сечение блока, перпендикулярное к направлению продува  $0,02 \div 0,75$  м<sup>2</sup> и длина блока в направлении продува  $0,1 \div 0,8$  м.

Для оценки теплового режима блока с принудительным воздушным охлаждением с использованием экспериментальных данных была получена следующая формула для определения перегрева нагретой зоны:

$$\Delta t_3 = P m_1 m_2 m_3 m_4 + \Delta t_6, \quad (6.28)$$

где  $m_1$  - коэффициент, учитывающий величину массового расхода охлаждающего воздуха;  $m_2$  - коэффициент, учитывающий величину площади поперечного к направлению обдува сечения блока;  $m_3$  - коэффициент, учитывающий длину блока в направлении продува;  $m_4$  - коэффициент, учитывающий заполнение блока;  $\Delta t_6$  - средний перегрев воздуха в блоке.

Определяем средний перегрев воздуха в блоке

$$\Delta t_6 = P / (2C_p G) = 5 \cdot 10^{-4} P / G, \quad (6.29)$$

где  $P$  - мощность источников тепла, расположенных в блоке;  $G$  - массовый расход охлаждающего воздуха;  $C_p$  - теплоемкость воздуха ( $C_p = 10^3$  Дж/кг·К при нормальных условиях).

Находим площадь поперечного в направлении продува сечения корпуса блока:

$$S = L_1 L_2, \quad (6.30)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - размеры корпуса блока, перпендикулярные направлению продува.

Находим коэффициент  $m_1$  в зависимости от массового расхода охлаждающего воздуха:

$$m_1 = 0,001 G^{-0,5}. \quad (6.31)$$

Находим коэффициент  $m_2$  в зависимости от поперечного в направлении продува сечения корпуса блока:

$$m_2 = (L_1 L_2)^{-0,406}. \quad (6.32)$$

Определяем коэффициент  $m_3$  в зависимости от длины корпуса блока в направлении продува:

$$m_3 = L_3^{-1,059}. \quad (6.33)$$

Находим коэффициент  $m_4$  в зависимости от коэффициента заполнения блока:

$$m_4 = K_3^{-0,42} (1 - K_3^{2/3})^{0,5}. \quad (6.34)$$

Рассчитываем перегрев нагретой зоны блока:

$$\Delta t_3 = \Delta t_6 + P m_1 m_2 m_3 m_4. \quad (6.35)$$

Находим площадь условной поверхности нагретой зоны:

$$S_3 = 2[L_1 L_2 + (L_1 + L_2)L_3 K_3]. \quad (6.36)$$

Определяем удельную мощность, выделяемую в нагретой зоне:

$$q_3 = P/S_3. \quad (6.37)$$

Находим удельную мощность, выделяемую элементом:

$$q_{эл} = P_{эл}/S_{эл}, \quad (6.38)$$

где  $P_{эл}$  - мощность, рассеиваемая элементом;  $S_{эл}$  - площадь поверхности элемента, обдуваемая воздухом.

Рассчитываем перегрев поверхности элемента:

$$\Delta t_{эл} = \Delta t_3(0,75 + 0,25q_{эл}/q_3)(0,5 + L/L_3), \quad (6.39)$$

где  $L$  - расстояние в направлении движения охлаждающего воздуха от входного сечения до места расположения элемента.

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды:

$$\Delta t_{эс} = \Delta t_6(0,75 + 0,25q_{эл}/q_3)(0,5 + L/L_3). \quad (6.40)$$

Находим температуру нагретой зоны:

$$T_3 = \Delta t_3 + T_{вх}; \quad (6.41)$$

среднюю температуру воздуха в блок:

$$T_6 = \Delta t_6 + T_{вх}; \quad (6.42)$$

температуру воздуха на выходе из блока:

$$T_{62} = 2\Delta t_6 + T_{вх}; \quad (6.43)$$

температуру поверхности элемента:

$$T_{эл} = \Delta t_{эл} + T_{вх}; \quad (6.44)$$

температуру окружающего элемент воздуха:

$$T_{эс} = \Delta t_{эс} + T_{вх}. \quad (6.45)$$

### *Алгоритм выполнения заданий*

#### **1. Выполнить оценку теплового режима блока ЭВС с герметичным корпусом.**

Исходные данные для расчета:

1) температура воздуха окружающей среды  $T_c$ , °С:

$$T_c = 5 + N;$$

2) коэффициент заполнения  $K_3$ :



$$K_3 = 0,3 + 0,02N;$$

3) мощность  $P$ , выделяемая в объеме блока, Вт:

$$P = 150 + 10N;$$

4) атмосферное давление снаружи корпуса  $H_1$ , МПа:

$$H_1 = 0,01 + 0,002N;$$

5) давление внутри блока  $H_2$ , МПа:

$$H_2 = 0,015 + 0,002N;$$

6) размеры блока -  $L_1, L_2, L_3$ , мм:

$$L_1 = 150 + 10N; L_2 = 180 + 10N; L_3 = 220 + 10N;$$

где  $N$  – номер варианта, задаваемый преподавателем.

1.1. Рассчитать тепловые характеристики для корпуса и нагретой зоны. Результаты расчета представить в виде следующей таблицы.

Тепловые характеристики нагретой зоны и корпуса блока

$q_k$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_z$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\Delta t_k$ , °С	$\Delta t_z$ , °С	$\Delta t_b$ , °С	$T_k$ , °С	$T_z$ , °С	$T_6$ , °С

1.2. Рассчитать тепловые характеристики для радиоэлементов, находящихся в нагретой зоне (тип радиоэлемента задается преподавателем). Данные расчета представить в виде таблицы.

Тепловые характеристики элементов

Тип элемента	$S_{эл}$ , м <sup>2</sup>	$P_{эл}$ , Вт	$q_{эл}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$T_{эл}$ , °С	$T_{эс}$ , °С	$T_z$ , °С	$T_k$ , °С

1.3. Построить график зависимости тепловых характеристик  $T_k, T_z, T_6$  от внешнего давления среды  $H_1$ . Данные расчета представить в виде таблицы.

Влияние внешнего давления  $H_1$  на тепловые характеристики

Тепловая характеристика	Внешнее давление, МПа					
	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10

**2. Выполнить оценку теплового режима для блока ЭВС с перфорированным корпусом.**

Исходные данные для расчета:

В качестве исходных данных взять данные из п.1. Атмосферное давление снаружи корпуса и давление внутри корпуса считать одинаковыми:

$$H_1 = H_2 = 0,01 + 0,002N.$$

2.1. Рассчитать влияние степени перфорированности корпуса блока на температуры корпуса  $T_k$ , нагретой зоны  $T_3$  и воздуха  $T_6$  в блоке. Результаты расчета привести в виде таблицы.

Результаты расчета тепловых характеристик  $T_k, T_3, T_6$

Тепловая характеристика	Степень перфорированности корпуса $\Pi$						
	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

2.2. Построить графики влияния степени перфорированности корпуса  $\Pi$  на тепловые характеристики  $T_k, T_3, T_6$ .

**3. Выполнить оценку теплового режима для блока ЭВС с принудительным воздушным охлаждением.**

Исходные данные для расчета:

1) температура воздуха на входе блока  $T_{вх}$ , °С:

$$T_{вх} = 5 + N;$$

2) производительность вентилятора  $G$ , кг/с:

$$G = 0,01N;$$

3) остальные данные в соответствии с п.1 (коэффициент заполнения,  $K_3$ ; мощность  $P$ , выделяемая в объеме блока, Вт; размеры блока -  $L_1, L_2, L_3$ , мм).

3.1. Определить температуры нагретой зоны  $T_3$ , воздуха на выходе из блока  $T_{62}$ , воздуха в блоке  $T_6$ . Результаты расчета представить в виде таблицы.

Тепловые характеристики блока

$\theta_6$ , °С	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$T_3$ , °С	$T_6$ , °С	$T_{62}$ , °С

3.2. Определить температуру нагретой зоны, температуру воздуха в блоке, температуру воздуха на выходе из блока в зависимости от производительности вентилятора. Результаты расчета представить в виде таблицы.

Температура определяемой характеристики	Производительность вентилятора, кг/с							
	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025

3.3. Построить графики зависимостей  $T_3, T_6, T_{62}$  от производительности вентилятора.

3.4. Определить перегрев элемента с площадью поверхности  $S_{эл} = 1,3 \text{ см}^2$  в зависимости от расстояния от входного сечения. ( $P_{эл} = 0,25 \text{ Вт}$ ). Результаты расчета представить в виде таблицы.

$\theta_{эл}, \text{ }^\circ\text{C}$	Расстояние от входного сечения, $L$				
	$0,2L$	$0,4L$	$0,6L$	$0,8L$	$1,0L$

3.5. Построить график зависимости перегрева элемента от расстояния от входного сечения.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое конвекция?
2. Методы конвекционного охлаждения аппаратуры.
3. Тепловая модель.
4. От чего зависит эффективность конвекционного охлаждения?
5. Какие другие методы теплового охлаждения аппаратуры применяют в конструкциях ЭВС?
6. Как влияет внешнее и внутреннее давление на перегрев корпуса и нагретой зоны?
7. Как влияет перфорация корпуса на тепловой режим работы аппаратуры?
8. Сущность методики расчета теплового режима аппаратуры в перфорированном корпусе.
9. Способы принудительного охлаждения аппаратуры.
10. Требования, предъявляемые к конструкции с принудительным воздушным охлаждением.

## Практическое занятие №7 «Расчет вибрационных характеристик печатной платы»

### *Характеристики вибрационных воздействий*

В процессе эксплуатации ЭВС подвергаются механическим воздействиям: линейные ускорения, вибрации, удары.

Под *вибрацией* понимают механические колебания ее элементов или конструкции в целом. Вибрацию характеризуют виброперемещением, виброскоростью и виброускорением. Вибрация может быть периодической или случайной. Периодическая вибрация подразделяется на гармоническую и полигармоническую, а случайная – на стационарную, нестационарную, узкополосную и широкополосную. Гармоническая вибрация в реальных условиях встречается редко (обычно в лабораторных испытаниях конструкций), но широко применяется при теоретическом анализе вибраций.

Виброперемещение при гармонической вибрации определяется как

$$Z(t) = Z_0 \sin \omega t, \quad (7.1)$$

где  $Z_0$  – амплитуда виброперемещения;  $\omega$  – частота вибраций.

Выражения для виброскорости и виброускорения находят путем дифференцирования выражения (1.4.1):

$$v(t) = dz / dt = \omega Z_0 \cos \omega t; \quad (7.2)$$

$$a(t) = d^2 z / dt^2 = -\omega^2 Z_0 \sin \omega t. \quad (7.3)$$

Для случайной вибрации ее параметры (амплитуда виброперемещения, частота и др.) изменяются во времени случайно.

В результате механических воздействий в элементах конструкции ЭВС могут происходить обратимые и необратимые изменения. В зависимости от физики протекающих в конструкции процессов факторы, вызывающие обратимые изменения, можно классифицировать следующим образом:

- деформации в активных и пассивных элементах, приводящие к изменению их параметров (конденсаторы, катушки индуктивности, пьезоэлектрические кварцевые резонаторы, электровакуумные приборы и др.);

- нарушения электрических контактов в разъемах и неразъемных соединениях, вызывающие изменение омического сопротивления контактов;

- изменение параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей, которое может привести к нарушению условий электромагнитной совместимости в конструкции.

Необратимые изменения свойственны конструктивным элементам ЭВС, связаны с нарушением условий прочности и проявляются в механических разрушениях элементов.

Конструкции ЭВС, работающие в условиях механических воздействий, должны отвечать требованиям прочности и устойчивости. Под *вибропрочностью* к воздействию механических факторов подразумевается способность конструкций выполнять функции и сохранять значения параметров в пределах норм, установленных стандартами, после воздействия механических факторов. Под *виброустойчивостью* к воздействиям механических факторов понимают способность конструкции выполнять заданные функции и сохранять свои параметры в пределах норм, установленных стандартами, во время воздействия механических факторов.

Конструкция ЭВС представляет собой сложную механическую систему, в которой могут возникать резонансные колебания, усиливающие механические нагрузки в десятки раз.

Наиболее эффективным способом борьбы с резонансными колебаниями является частотная отстройка. На практике чаще всего используют условие:  $\omega_0 > 2\omega$ , где  $\omega_0$  – резонансная частота механической системы;  $\omega$  – частота внешних механических воздействий. Влиять на спектр собственных частот колебаний можно изменением геометрических размеров плат, способов их крепления, материала, конфигурации и массы конструкции.

### ***Модель печатной платы***

Так как конструкция печатной платы представляет собой сложную механическую систему, состоящую из бесконечно большого числа материальных точек, то переходят к упрощенным абстрактным моделям на основе прямоугольной пластины, с определенным закреплением сторон.

Расчет частоты свободных колебаний прямоугольных пластин производится на основе следующих допущений:

- изгибные деформации пластин при вибрации, по сравнению с ее толщиной, малы, упругие деформации подчиняются закону Гука;
- пластина имеет постоянную толщину;
- в пластине имеется нейтральный слой, который при изгибных колебаниях пластины не подвержен деформациям растяжения-сжатия;
- материал пластины идеально упругий, однородный и изотропный;
- все прямые, нормальные к поверхности нейтрального слоя до деформации, остаются прямыми и нормальными к ней после деформации.

Дифференциальное уравнение свободных незатухающих колебаний пластины имеет следующий вид:

$$m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + D \left( \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} \right) = 0, \quad (7.4)$$

где  $z = z(x, y, t)$  – виброперемещение пластины, определяемое в точке с координатами  $x, y$ ;  $m$  – масса пластины;  $D = Eh^3 / 12(1 - \varepsilon^2)$  - жесткость пластины на изгиб (цилиндрическая жесткость);  $E, \varepsilon$  - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала;  $h$  – толщина пластины.

Уравнение (7.4) имеет точное решение для свободных колебаний прямоугольных пластин, две противоположные стороны которых свободно опираются, при любом закреплении двух других сторон. Решение уравнения собственных колебаний имеет вид

$$z(x, y, t) = K_\phi(x, y) \exp(j\omega_0 t). \quad (7.5)$$

Амплитудная функция  $K_\phi(x, y)$ , называемая собственной формой колебаний пластины, определяется выражением

$$K_\phi(x, y) = A_{k,n} \sin\left(\frac{k\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right), \quad (7.6)$$

где  $a, b$  – размеры сторон пластины;  $k, n$  – число полуволен синусоиды в направлении осей  $x$  и  $y$  соответственно.

В случае свободного опирания всех сторон частота свободных колебаний пластины может быть найдена по формуле

$$\omega_0 = \pi^2 \left[ \left( \frac{k}{a} \right)^2 + \left( \frac{n}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \quad (7.7)$$

где  $k, n = 1, 2, 3, \dots$  – число полуволн синусоиды, укладываемых вдоль сторон пластины;  $a, b$  – размеры сторон;  $\rho$  – плотность материала пластины. Низшая частота собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$  соответствует  $k = n = 1$  и определяется следующим выражением:

$$\omega_{01} = \pi^2 \frac{a^2 + b^2}{a^2 b^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\varepsilon^2)}}. \quad (7.8)$$

### ***Приближенные методы расчета собственных колебаний пластин***

Реальные конструкции печатных плат не соответствуют требованиям однородной пластины, что приводит к многообразию краевых условий пластины. В таких случаях применяются приближенные решения уравнения (7.4) по методам Рэлея, Ритца и др.

*Метод Рэлея* позволяет учесть нагружение печатной платы функционального узла с установленными на ней элементами и получить выражение для расчета частоты свободных колебаний платы, справедливое при любых краевых условиях. Частота свободных колебаний основного тона печатной платы определяется по формуле

$$\omega_{01} = \frac{\alpha_1}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m_s + m_0}}, \quad (7.9)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, характеризующий зависимость частоты свободных колебаний пластины от краевых условий;  $a$  – большая сторона пластины;  $m_s, m_0$  – приведенные к площади пластины массы элементов и самой пластины. Коэффициент  $\alpha_1$  находится из формул, приведенных в табл. 7.1, в зависимости от схемы закрепления и соотношения сторон пластины  $\beta = a/b$ .

Выражение (7.9) обеспечивает достаточную точность лишь при расчете частоты основного тона. С ростом номера тона (обертон) точность результатов расчета существенно снижается.

*Метод Ритца*, являющийся развитием метода Рэлея, позволяет определять частоты свободных колебаний пластины на основном тоне

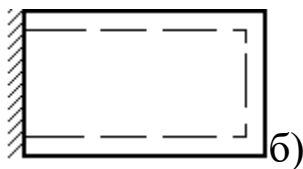
и обертонах для различных краевых условий. Наибольшее применение находит формула

$$\omega_{0i} = K_9 \frac{\alpha_{ij}}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}, \quad (7.10)$$

Таблица 7.1 - Формулы вычисления коэффициента  $\alpha_i$  в зависимости от варианта закрепления сторон пластины

№	Вариант крепления пластины (рис.7.1)	Формулы расчета $\alpha_i$
1	<i>a</i>	$22,37(1 + 0,61\beta^2 + \beta^4)^{1/2}$
2	<i>б</i>	$15,42(1 + 0,95\beta^2 + 0,41\beta^4)^{1/2}$
3	<i>в</i>	$15,42(1 + 1,19\beta^2 + 2,1\beta^4)^{1/2}$
4	<i>г</i>	$22,37(1 + 0,48\beta^2 + 0,19\beta^4)^{1/2}$
5	<i>д</i>	9,87
6	<i>е</i>	$9,87(1 + 2\beta^2 + \beta^4)^{1/2}$

где  $\alpha_{ij}$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления пластины, соотношения ее сторон и номера тона колебаний;  
 $m = (m_n + m_9)/(ab)$  – масса пластины, приведенная к площади;  
 $K_9 = 1/\sqrt{1 + m_9/m_n}$  – коэффициент, учитывающий нагрузку пластины с размещенными на ней элементами;  $m_9$  – масса элементов, размещенных на пластине;  $m_n$  – масса пластины.





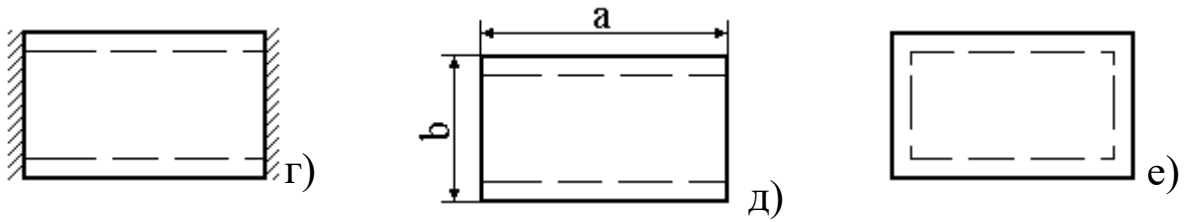
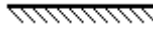
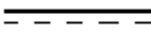


Рис. 7.1. Варианты крепления пластины:  - сторона закреплена;  - сторона лежит на опоре (в направляющей)

Для упрощения процедуры расчета частоты свободных колебаний пластины основного тона формула (7.10) преобразуется к виду:

$$f_{01} = 10^5 K_m K_\rho \frac{Ch}{a^2}, \quad (7.11)$$

где  $C = \frac{\alpha_1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$  - частотная постоянная для пластины, изготовленной из стали;  $a$  - большая сторона пластины;  $K_m = \sqrt{E\rho_c / (E_c\rho)}$  - поправочный коэффициент на материал пластины;  $E, E_c$  - модули упругости материала пластины и стали;  $\rho, \rho_c$  - плотности материала пластины и стали соответственно. В табл. 7.2 приведены значения частотной постоянной  $C$  для различных вариантов закрепления и соотношения сторон  $a/b$  стальной пластины.

Таблица 7.2 - Частотная постоянная  $C$  стальной пластины

Схема закрепления пластины (рис.1.4.1)	Значение $C$ при соотношении сторон $a/b$ , равном					
	1	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
$a$	86	145	234	352	497	868
$b$	56	84	124	176	240	864
$v$	76	139	230	349	494	866
$z$	69	93	131	181	244	406
$d$	38	70	112	165	230	394
$e$	47	76	117	170	234	375

В случае точечного крепления печатных плат (рис.7.2) собственная частота колебаний определяется по формуле

$$f_0 = 1,57 \left( A + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}}, \quad (7.12)$$

где  $A = 1/a^2$  при числе точек крепления  $n = 4$ ;  $A = 4/(a^2 + b^2)$  при  $n = 5$ ;  $A = 0,25/a^2$  при  $n = 6$ .

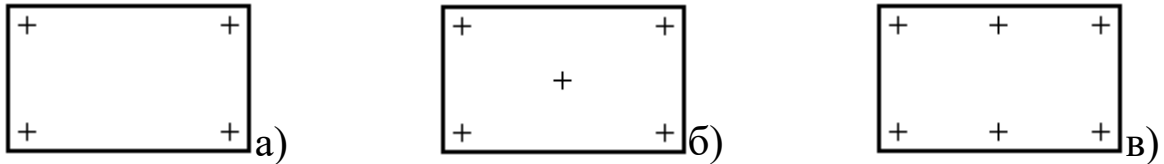


Рисунок 7.2 - Точечное крепление плат

Для прямоугольной пластины, свободно опертой по контуру и имеющей параллельные сторонам ребра жесткости с одинаковыми прямоугольными поперечными сечениями, первая собственная частота колебаний определяется из выражения

$$f_{01} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B + \frac{r+1}{k+1} \xi^4 B + aD(\xi^2 + 1)^2}{b^3 \left( m_y + \frac{r+1}{k+1} m_x + \frac{m_n}{k+1} \right)}}, \quad (7.13)$$

где  $a, b$  – длина и ширина пластины;  $r, k$  – число ребер, параллельных осям  $X$  и  $Y$ ;  $m_n, m_x, m_y$  – массы пластин и ребер, параллельных осям  $X$  и  $Y$  соответственно;  $\xi = b/a$ ;  $D$  – цилиндрическая жесткость пластины;

$B = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12}$  – жесткость ребра;  $E_1$  – модуль упругости материала ребра;

$b_1, h_1$  – ширина и высота ребра.

### Алгоритм выполнения заданий

1. Для заданных размеров ПП (табл. 7.3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние соотношения сторон  $a/b$  на низшую частоту собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$  в следующих случаях: свободного опирания по формуле (1.4.8); метода Рэлея по формуле (7.9); метода Ритца по формуле (7.11). Способ закрепления задается преподавателем. Результаты представить в виде графика.

Таблица 7.3 - Исходные данные для расчетов

Размер стороны ПП $a$ , см	Диапазон изменения соотношения сторон ПП $a/b$	Толщина ПП $h$ , см	Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$ , Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона $\varepsilon$	Плотность материала $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>
$a = 5 + N$ , где $N$ -	[0,5 ÷ 3] с шагом 0,5	0,2	3,2	0,279	2,47

номер варианта					
-------------------	--	--	--	--	--

2. Исследовать влияние способа закрепления ПП на низшую частоту собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$  для метода Рэлея. Соотношение сторон ПП задается преподавателем. Результаты представить в виде таблицы.

Частота собственных колебаний пластины $\omega_{01}$ в зависимости от способа закрепления ПП (рис.1.4.1)					
<i>a)</i>	<i>б)</i>	<i>в)</i>	<i>г)</i>	<i>д)</i>	<i>е)</i>

3. Для заданных размеров ПП (табл. 7.3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние соотношения сторон  $a/b$  на низшую частоту собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$  в случае точечного закрепления ПП (рис.7.2) в соответствии с выражением (7.12). Способ закрепления задается преподавателем. Результаты представить в виде графика.

4. Исследовать влияние способа точечного закрепления ПП на низшую частоту собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$ . Соотношение сторон ПП задается преподавателем. Результаты представить в виде таблицы.

Частота собственных колебаний пластины $\omega_{01}$ в зависимости от способа закрепления ПП (рис.7.2)		
<i>a)</i>	<i>б)</i>	<i>в)</i>

5. Для заданных размеров ПП (табл. 7.3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние ребер жесткости на низшую частоту собственных колебаний пластины  $\omega_{01}$  в соответствии с выражением (7.13). Исходные данные для ребер жесткости приведены в табл. 7.4. Количество ребер жесткости задается преподавателем.

Таблица 7.4

Ширина ребра жесткости $b_1$ , мм	Высота ребра жесткости $h_1$ , мм	Материал	Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$ Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона $\epsilon$	Плотность материала $\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>
--	--	----------	---	------------------------------------	--

3	1	Алюминий	7,3	0,3	2,7
2	1	Сталь	22	0,3	7,8

### ***Контрольные вопросы***

1. Что понимается под гармонической и полигармонической вибрацией?
2. Дайте характеристику случайной вибрации.
3. Дайте характеристику модели печатной платы.
4. Особенности амплитудно-частотной характеристики механической колебательной системы.
5. Особенности расчетов собственных частот ПП методами Рэлея и Ритца.
6. Методы борьбы с механическими воздействиями в конструкциях ЭВС.
7. Характеристики изменений в элементах конструкции ЭВС, вызванные механическими воздействиями.
8. Дайте определение вибропрочности и виброустойчивости конструкции ЭВС.
9. Как определяется виброперемещение при гармонической вибрации?
10. Как можно классифицировать факторы, вызывающие обратимые изменения, в зависимости от физики протекающих в конструкции процессов?

## **Практическое занятие №8 «Конструирование лицевой панели электронного блока»**

### **Особенности конструирования лицевой панели ЭС**

Одним из важных формообразующих элементов конструкции электронных средств (ЭС) является лицевая панель (ЛП), посредством которой происходит оперативная взаимосвязь «человек-прибор» и имеется непосредственный контакт с человеком-оператором в процессе эксплуатации устройства. От того, насколько полно будут учтены конструкторско-технологические,

художественно-конструкторские и эргономические требования и рационально будут скомпонованы на панели информационно-управляющие элементы, будет зависеть эффективность взаимодействия человека с ЭС, и, следовательно, эффективность эксплуатации устройства.

Высокие потребительские свойства ЭС определяются не только его техническими (тактико-техническими) характеристиками, но и эргономичностью его внешних элементов, их художественно-конструкторским решением, эстетической выразительностью формы изделия и т.д.

### **Анализ исходных данных для компоновки ЛП**

Художественно-конструкторская разработка ЛП возможна только после решения таких вопросов, как:

1. распределение функций между человеком и ЭС;
2. согласование информационного потока сигналов с реальной информационной пропускной способностью человека;
3. выбор физического алфавита сигналов и их параметров и т.д.

После этого подбирают конкретные типы информационно-управляющих элементов (комплектующих панели) с учетом конкретных условий эксплуатации. Выбор комплектующих должен производиться комплексно по соответствующим конструктивным, электро- и светотехническим или другим характеристикам. Следуя теоретическим положениям дизайна, технической эстетики, художественного конструирования, теории композиции при проектировании лицевых панелей, необходимо соблюдать требования по масштабному и стилевому соответствию внешних установочных элементов индикаторов и органов управления, так как невыполнение этих требований отрицательно скажется на художественно-выразительном облике всего изделия. При подборе элементов ЛП или их оригинальном самостоятельном проектировании необходимо оценивать возможности их визуально-композиционной сочетаемости и формально стилистического единства.

При выборе средств отображения информации (СОИ) следует обратить внимание на существующие разновидности индикаторов. Индикаторы могут быть:

- шкальные;
- жидкокристаллические;
- люминесцентные;
- электроннолучевые;
- накальные;
- газоразрядные и т.д.

При выборе органов управления (ОУ) основные требования диктуются необходимостью обеспечения высокой надежности, точности и скорости оперативной деятельности оператора. Это зависит не только от особенностей исполнительных механизмов ОУ, но и в большой степени от удобства сенсомоторной части внешнего установочного элемента, т.е. кнопок, клавиш, ручек или рукояток управления.

Современная тенденция микроминиатюризации ЭС иногда некритически переносится на ЛП и ее информационно-управляющие элементы. Это вступает в серьезное противоречие с требованиями антропометрии человека и его психофизиологическими характеристиками. Поэтому нельзя бесконечно уменьшать размеры информационных знаков, а также кнопок и ручек органов управления.

Органы управления на ЛП должны быть легко различимы визуально или тактильно, кроме того, в их конструкции должны быть заложены рациональные усилия переключения, углы поворота, размеры, связанные с антропометрией руки, и высокие эстетические качества.

Как правило, панели ЛП и ОУ решаются в резком контрасте по цвету, фактуре, пластическому решению и материалу. Органы управления для РЭ по характеру прилагаемых к ним рабочих усилий и конструктивным особенностям внешних установочных элементов делятся на несколько основных типов:

- кнопки и клавиши;
- рычажные переключатели (тумблеры);
- поворотные переключатели и выключатели;
- ручки плавной настройки;

маховики (для плавного динамического регулирования с большой точностью при больших сопротивлениях перемещений).

В связи с большой информационной насыщенностью ЛП современных ЭС имеется тенденция конструирования органов управления, совмещенных с индикаторами. Например, клавиши с подсветкой, кнопки с встроенным светодиодом, переключатель со шкалой и т.д.

### Структурирование лицевой панели управления

Основопологающим принципом организации ЛП является расчленение ее на три функциональные зоны:

- индикации;
- управления;
- коммутации.

Расположение зон, подчиняясь эргономической закономерности, варьируется в зависимости:

- от насыщенности каждой зоны элементами;
- от ориентации элементов в пространстве;
- от соотношения сторон панели, т.е. от конкретного конструктивного варианта исполнения ЭС.

Число элементов индикации, коммутации и управления на ЛП ЭС может быть различным, но все они являются источниками информации. Известно, что психологические возможности человека по восприятию информации ограничены, например, число одновременно успешно контролируемых человеком информационных объектов не превышает  $7 \pm 2$  (ограничение объема оперативной памяти).

Учитывая это, а также свойство структурности восприятия, целесообразно производить предварительную группировку элементов ЛП в функциональные группы (рис.8.1), а затем размещение их по функциональным зонам. *Функциональной группой* называют совокупность элементов связанных выполнением одной (общей) функции. Различают функциональные группы: полные, неполные, составные. Полная группа содержит элементы: индикатор-надпись-регулятор (и

электрический разъем). Неполная: индикатор (регулятор или разъемный контакт) и надпись.

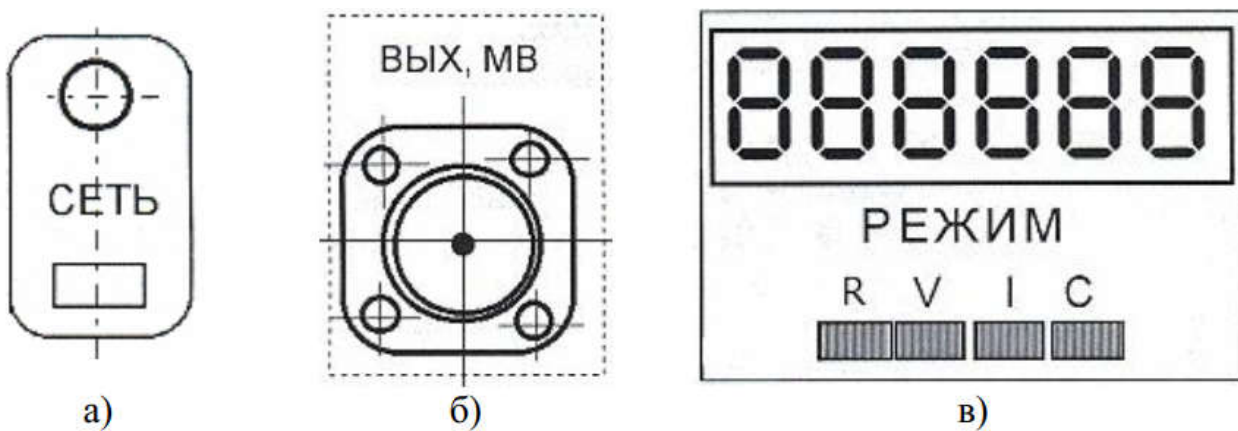


Рис.8.1. Примеры функциональных групп: а – полная; б - неполная; в – составная

За счет этого происходит укрупнение единицы информации, облегчается ее восприятие, сокращается общее время регулирования, повышается надежность работы оператора.

Можно выделить три основных принципа структурирования ЛП:

- группировки;
- взаимосвязи;
- приоритета.

*Принцип группировки* включает следующее. При количестве установочных элементов на ЛП свыше 20...30 их следует разбивать на несколько визуальных отличных групп. Группировка информационно-управляющих элементов может осуществляться на логическом и формальном уровнях.

По логическому признаку, объединению в функциональные группы подлежат элементы ЛП, связанные между собой:

- по общности выполняемых задач, функций и т.п.;
- по принадлежности к соответствующему обслуживаемому комплексу, системе, объекту и т.д.;
- по каналам и т.д.

Если подобное объединение невозможно, то элементы ЛП объединяются в функциональные группы по формальному признаку, т.е. по внешней однотипности элементов:

- группа клавиш;



группа кнопок;  
 группа лампочек;  
 группа индикаторов;  
 группа разъемов, клемм и т.д.

С позиций более эффективной работы оператора, лучшей его ориентации и более быстрого освоения ЛП логический принцип ценнее формального.

*Принцип взаимосвязи* имеет две стороны:

учитывает функциональные взаимосвязями между органами управления и индикаторами внутри функциональной группы;

учитывает взаимосвязь этих элементов и функциональных групп с позиций последовательности их использования в процессе работы.

В большинстве случаев изменение положения органа управления должно отражаться на соответствующем индикаторе. При этом соблюдается следующее правило. Увеличению параметра на индикаторе должно соответствовать движение органа управления вверх, вправо или по ходу часовой стрелки. Это принцип так называемого совмещения стимула и реакции. В этом случае связанные органы управления и информации рекомендуется располагать в одной плоскости. Для правильного и удобного размещения элементов и функциональных групп на ЛП надо учитывать алгоритм работы оператора с ЛП.

*Принцип приоритета* учитывает функциональную важность и значимость информационно-управляющих элементов и функциональных групп на ЛП. Установление приоритета может осуществляться:

по оперативной значимости показаний индикаторов либо степени воздействия органа управления на работу системы в целом;

по требуемой точности считывания показаний с индикатора либо регулировочных операций органа управления;

по частоте обращения к элементу управления или индикации в процессе работы.

Элементы и функциональные группы, получившие приоритет, размещаются в зонах, где имеются наилучшие условия для их восприятия и досягаемости. Рассмотренные принципы не могут считаться абсолютными, зачастую они вступают в противоречие друг с другом. Однако их учет необходим в процессе работы над компоновкой лицевой панели ЭС.

Помимо указанных принципов, существуют еще и композиционные принципы, которые также способствуют лучшей организации лицевой панели, но уже с эстетических позиций ее восприятия.

После объединения информационно-управляющих элементов ЛП в функциональные группы, выявления взаимосвязи и приоритета между ними предварительно схематично намечается размещение основных функциональных зон на ЛП.

*Функциональная область (зона)* – совокупность функциональных групп, предназначенных для выполнения определенного этапа работы при управлении прибором. В качестве примера можно показать раскрой лицевой панели по функциональному признаку на рис.8.2 и 8.3. На рис.8.2 показано выделение горизонтальных зон, связанное с удобством управления прибором.



Рис.8.2. - Основное размещение зон на лицевой панели:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ - $Y_4$  – краевые поля

$YN$  – зона основных надписей содержит товарный знак завода изготовителя, символическое (образное) название прибора, техническое название.

$YI$  – зона индикации предназначена для размещения индикаторов, поясняющих надписей и символов.

$YU$  – зона управления, выделяется для размещения органов управления (тумблеров, кнопок, ручек вращения) и разъемных электрических соединителей, клемм, одиночных электрических контактов (гнезд).

$Y1, Y2, Y3, Y4, X1, X2$  – краевые поля, отделяющие одну зону (или группу, область) от другой.

На рис. 8.3 показано деление площади лицевой панели на вертикальные части в соответствии с последовательностью управляющих действий человека при работе с прибором. В соответствии с физиологическими особенностями человеческого поведения эти части следует располагать слева направо.



Рис.8.3. Размещение функциональных областей на площади лицевой панели

*Область начальных установок* содержит элементы и функциональные группы, которые используются для начала работы прибора: включение питающих напряжений, присоединение цепей входных управляющих сигналов от внешних источников. Управляющие действия выполняются в основном левой рукой как вспомогательные действия.

*Область установки режимов* – необходима для выполнения подготовительных действий перед переводом прибора в рабочий режим (калибровки, установка нуля, выбор диапазона, режима работа и т.п.). Управляющие действия могут выполняться обоими руками.

*Область контроля работы и выходных параметров* – предназначена для размещения элементов и функциональных групп, обслуживающих рабочий режим функционирования прибора: присоединения нагрузки, объектов контроля, связи, контроль рабочих параметров, поддержание необходимого режима работы.

Выделение квадрантов на лицевой панели по значимости согласно рис.8.4 связано с психологическими и физиологическими особенностями мыслительной и двигательной деятельности человека. Человеческий глаз начинает изучать информацию на лицевой панели с определения центра тяжести её площади в границах контура в области 5. После определения взгляд перемещается в левый верхний угол и далее двигается влево из области 1 в область 2. Поэтому они являются наиболее удобными для быстрого считывания информации.

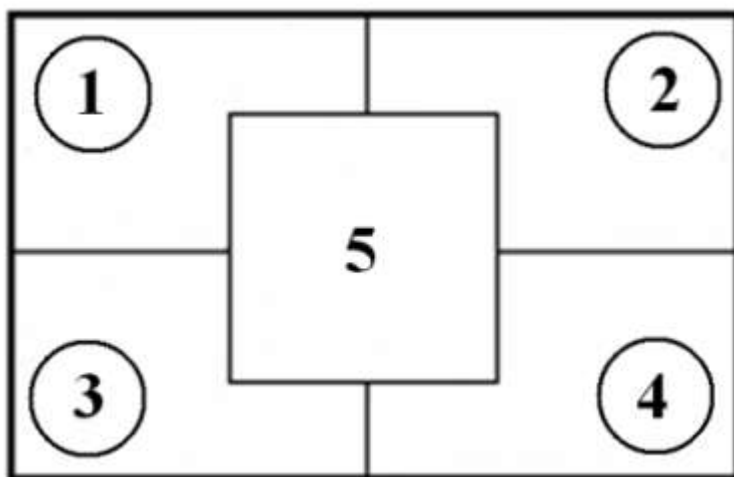


Рис.8.4. - Выделение областей на лицевой панели для размещения элементов важности: 1, 5 – зоны основной индикации, 4 – зона основных управляющих действий, 2, 3 – зоны для размещения элементов вспомогательных действий и индикации

Далее взгляд спускается вниз в область 4, далее в 3 и возвращается в центр тяжести, область 5. Поэтому область 4 наиболее удобна для основных управляющих действий ведущей (правой) рукой, область 3 следует оставить для элементов вспомогательных управляющих действий ведомой (левой рукой).

Эта схема действий человека может нарушаться в большей или меньшей в меньшей степени, в зависимости от назначения радиоаппаратуры, особенностей работы человека с прибором. Например, человек с прибором может работать мало, т.е. установил, включил и ушел. В дальнейшем работающий прибор не нуждается в каких-либо управляющих действиях человека, поэтому нет необходимости при размещении элементов лицевой панели в поиске тонкостей расположения.

Совсем по-другому нужно относиться к лицевой панели, с которой человеку приходится работать длительное время. В этом случае неудачное расположение элементов, затрудненный поиск нужных индикаторов, регуляторов, вызывает быстрое утомление человека и, как следствие, ошибки в управляющих действиях и в чтении предъявленной информации.

### **Эргономическое обеспечение лицевой панели**

Эргономическое обеспечение ЛП сводится к нахождению такого оптимального варианта размещения всех комплектующих элементов ЛП, которое гарантирует оптимальный прием и переработку поступающей информации и обеспечивает максимальное удобство оперативного обслуживания оператором. Особенности учета антропометрических параметров человека в процессе проектирования ЛП проявляются в правильном выборе размеров внешних установочных элементов органов управления и расстояниям между соседними органами управления на панели.

Структурирование и зональный принцип компоновки ЛП, что является, собственно, основным в выполнении контрольной работы, позволяет условно говорить о формировании в процессе разработки ЛП информационного, коммутационного и моторного полей на плоскости ЛП. Каждое из них и все они вместе формируют

для оператора информативное поле ЛП. Таким образом, в общем случае информационными элементами ЛП, к которым применим эргономический подход и требования эргономического обеспечения, являются:

ручки органов управления;

лицевые части средств отображения информации;

элементы информационного обеспечения, поясняющие значения сигналов индикаторов, регулировок органов управления, подключений, принадлежность к фирме (надписи, графические знаки и т.п.);

элементы внешней коммутации (разъемы, гнезда, клеммы);

конструктивные детали (приборные ручки, крепеж и т.п.);

вспомогательные (предохранители и др.) и декоративные элементы (шильдики, накладки, планки с надписями и т.п.).

Практические рекомендации по расположению информационных элементов ЛП, учитывающие эргономическое обеспечение ЛП заключаются в следующем:

основные индикаторы располагать в пределах оптимальной зоны видения;

под зону индикации предпочтительно оставлять верхнюю часть ЛП с тенденцией левого смещения;

если смена информации на индикаторах происходит часто, их предпочтительнее размещать левее (увеличивается вероятность обнаружения сигнала);

если требуется высокая скорость и точность считывания информации, то индикаторы надо размещать в центре ЛП или правее;

если на одной ЛП имеются и стрелочно-шкальные индикаторы, и индикаторы подсветки, то первые надо размещать правее, вторые — левее;

при использовании шкальных устройств индикации надо стремиться к единой форме шкал, горизонтальному их расположению и единообразной ориентировке начала отсчета.

Рекомендуется использовать для горизонтальных рядов «девятчасовую», а для вертикальных — «двенадцатчасовую»

нулевую отметку шкалы; количество индикаторов в одном ряду должно учитывать психофизиологический предел восприятия ( $7\pm 2$ ).

Основные требования к надписям на ЛП:

надписи должны располагаться по горизонтали и читаться слева — направо;

должны быть лаконичными, краткими, с допустимыми сокращениями;

должны легко читаться на расстоянии зон досягаемости; выполняться прямым шрифтом прописными знаками;

не допускать разнообразия каллиграфического исполнения.

Формирование моторного поля ЛП (расположение органов управления) во многом определяется особенностями информационного поля, но имеются также и принципиальные соображения:

функционально связанные органы управления и органы отображения информации должны располагаться вблизи друг друга. Как правило, органы управления располагаются снизу или справа относительно индикатора;

предпочтительным является расположение кнопок, клавиш, тумблеров в горизонтальном ряду. В исключительных случаях допускается вертикальное расположение, при этом промежутки между краями клавиш — не менее 10 мм.

Итак, перечислим наиболее важные и общие соображения, которыми необходимо руководствоваться при выполнении контрольной работы при размещении установочных элементов на лицевой панели ЭС:

предпочтительна рядная расстановка любых компонентов панели. Для этой цели удобно вводить специальную координатную сетку с шагом 20 мм;

лампочку и тумблер (или клавишу с подсветкой), относящиеся к включению сети, следует располагать вне оперативной рабочей зоны. Это же касается и всех вспомогательных элементов ЛП;

на лицевой панели не должно быть ничего лишнего, не несущего информации оператору. По возможности надо использовать такие элементы, которые не имели бы видимых снаружи крепежных деталей (рекомендуется применять фальшпанели);

элементы коммутации следует устанавливать в основном по нижнему краю лицевой панели.

### **Композиционная обработка лицевой панели**

Необходимо понимать, что лицевая панель любого прибора является не только информационным элементом, орудием управления человека-оператора, но и объектом эстетического восприятия.

Художественно-конструкторская обработка ЛП влияет на степень внимания оператора. А от уровня внимания зависят чувствительность анализаторов, величина поля зрения, продуктивность запоминания, скорость двигательных реакций и др. характеристики человека.

Поэтому организацию сигналов, информационно-управляющих элементов на ЛП за счет цвета, яркости, размера следует выполнять так, чтобы повысить эффективность деятельности оператора.

Решение задач художественной композиции и цветовой проработки лицевой панели должно осуществляться не за счет снижения эргономичности или ухудшения технологичности прибора, а, напротив, путем их улучшения на завершающих этапах проектирования.

*Композиция* – организация элементов формы, придающая единство, целостность, соподчиненность компонентов друг другу. Точное значение: *composito* – латинское слово, переводится как составление, связывание.

Под *композицией лицевой панели* понимается размещение, объединение, группирование составных элементов и частей лицевой панели с целью достижения целостности и выразительности формы. Термины согласованность, соподчиненность, целостность – означают, что элементы формы и структурного построения лицевой панели неравнозначны по важности, по отношению к функциям прибора, находятся в определенной функциональной и смысловой связи, являются частями общей идеи построения данной конструкции.



Структура лицевой панели характеризует деление ее площади на функциональные и композиционные части (рис.8.5).

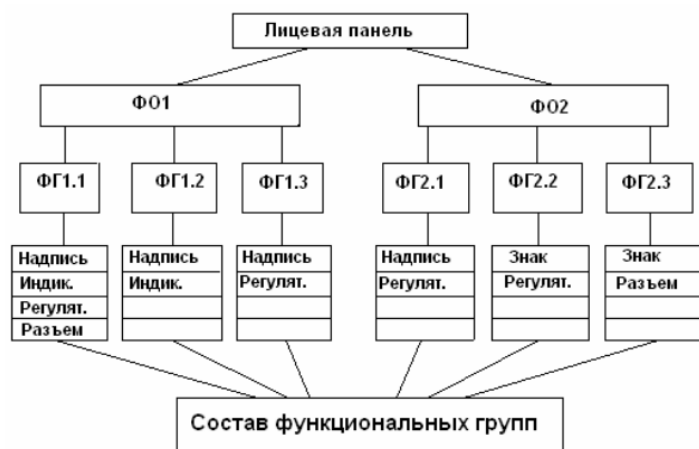


Рисунок 8.5 - Пример структурного построения ЛП: ФО – функциональная область, ФГ – функциональная группа, Индик. – индикатор, Регулят. - регулятор.

При композиционной отработке ЛП следует учитывать особенности нашего восприятия и использовать это в соответствующих средствах композиции, применяемых в работе над ЛП.

Перечислим некоторые закономерности зрительного восприятия:

Зрительное восприятие происходит в направлении:

- от больших по размеру элементов к меньшим;
- от более контрастных к фону и насыщенных по цвету элементов композиции к менее контрастным и насыщенным;
- от сгущенных к разряженным областям композиции;
- по контуру к динамическим осям элементов композиции (динамическая ось — направление деформации фигур, тел, поверхностей).

Свойство структурности человеческого восприятия, связанное с последовательным разворачиванием признаков, перекодировкой и укрупнением единиц информации, проявляется в том, что наша зрительная система группирует элементы композиции:

- по размерам;
- по форме;

- по контрасту, цвету, фактуре;
- по плотности расположения;
- по направлению главных динамических осей.

Движение глаз по наклонным направлениям осуществляется медленнее и менее точно, чем по горизонтали и вертикали. Если элементы ЛП имеют сложную структуру, разбросаны по воспринимаемому полю, различаются по форме, то размещение их на модульной основе (по сетке) создает некоторое единство, что сокращает время поиска нужного прибора на ЛП или сигнала. Однако, будучи абстрактным выразителем порядка, модульная сетка может сделать композицию монотонной, лишит ее выразительности. Поэтому нельзя сводить композиционное построение элементов ЛП лишь к формальному использованию метода модульной координации и забывать о таких активизирующих внимание средствах композиции, как контраст, цвет, ритм и др.

*Композиционное равновесие* – основное и главное состояние композиции, когда все элементы формы сбалансированы между собой относительно ее центра и связаны с характером организации пространства, с расположением композиционных осей, с пластичностью формы, с цветовыми и тональными соотношениями функциональных групп и областей.

*Композиционные оси* - вертикальные линии, относительно которых устанавливается равенство площадей, занимаемых функциональными группами и областями. Когда осей несколько, выбирается главная и второстепенные, решается вопрос о форме и степени соподчиненное. Значимость оси выбирается, исходя из важности тех функций, которые выполняют функциональные группы, которые сгруппированы относительно этой оси.

Композиционное равновесие существует в двух формах: симметричной и асимметричной. Пример симметричной формы композиционного равновесия представлен на рис. 8.6. Здесь зрительное ощущение композиционного равновесия достигается за счет равенства площадей  $S_1$  и  $S_2$  геометрических фигур, образующих функциональную область прибора:

$$SF = S_1 + S_2; S_1 = S_2; |S_1 - S_2| \leq \varepsilon; \varepsilon \ll S_1(S_2);$$

где  $\varepsilon$  – погрешность равенства площадей.

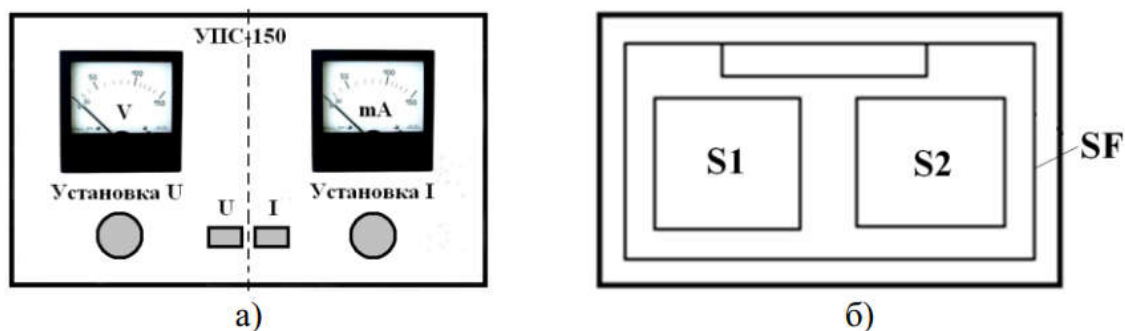


Рисунок 8.6 - Пример композиционного равновесия ЛП в симметричной форме: а - оформление ЛП; б - размещение функциональных площадей; SF – функциональная область ЛП; S1, S2 – составные части SF

Количественная оценка равновесия

$$(1 - S1/S2) * 100\% = \varepsilon ,$$

где  $\varepsilon$  – относительная погрешность равенства площадей;  $\varepsilon = 5$  – идеальное равновесие;  $10 \pm 5$  – хорошее равновесие,  $20 \pm 5$  – удовлетворительное равновесие;  $30 \pm 5$  – плохое равновесие,  $>35$  – равновесие отсутствует.

Если не удается получить равновесие относительно оси по всей высоте прибора, то площади разбиваются на горизонтальные зоны (строки), которые сравниваются по площади, рис. 8.7. Строится равновесие в каждой строке, а затем определяется результирующее:

$$\begin{aligned} |S1.1 - S2.1| &= \Delta S1; \\ |S1.2 - S2.2| &= \Delta S2; \\ |S1.3 - S2.3| &= \Delta S3; \\ \Delta S_{CP} &= \frac{\Delta S1 + \Delta S2 + \Delta S3}{3} . \end{aligned}$$

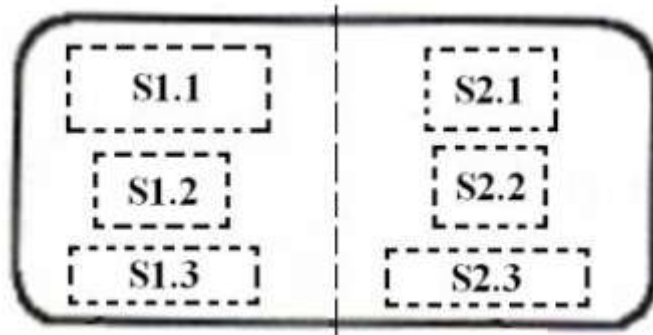


Рисунок 8.7 - Пример равновесия по строкам

На рис. 8.8 показан пример еще одной формы равновесия - инверсной. В данном случае рассматривается равенство площадей информации по диагонали относительно композиционной оси.

$$|S1.1 - S2.2| = \Delta S1;$$

$$|S1.2 - S1.2| = \Delta S2.$$

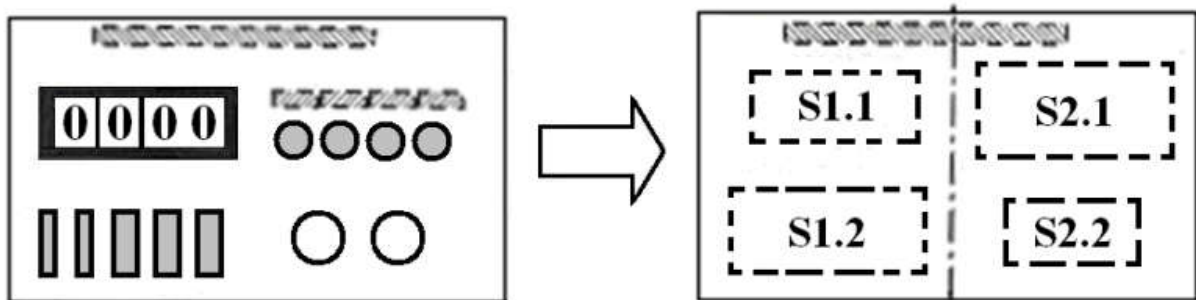
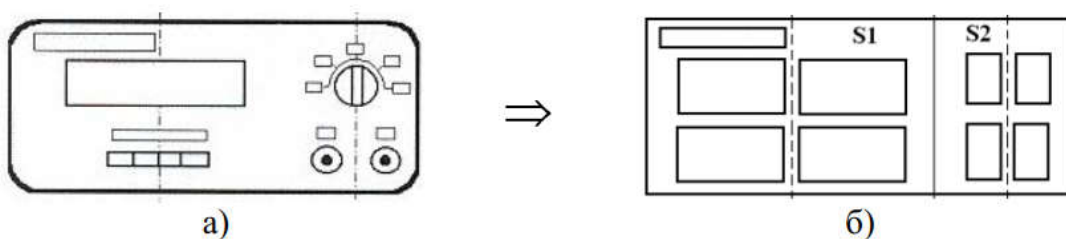


Рисунок 8.8 - Пример инверсной формы композиционного равновесия

Если не удастся получить равновесие в симметричных формах, задача построения композиционного равновесия решается в асимметричных формах. В этом случае лицевая панель разбивается на несколько частей так, чтобы в каждой из них можно было бы провести свою композиционную ось равновесия в симметричной форме. Примеры представлены на рис. 9.9.



а)

б)

## Рисунок 9.9 - Пример композиционного равновесия в асимметричных формах

Формы асимметричного равновесия разнообразны, часто неожиданны, но всегда подчинены замыслам проектировщика подчеркнуть, выразить достоинства прибора: технические, эксплуатационные, художественные, стилевые и т.д. Возможные варианты показаны на рисунок 8.10.

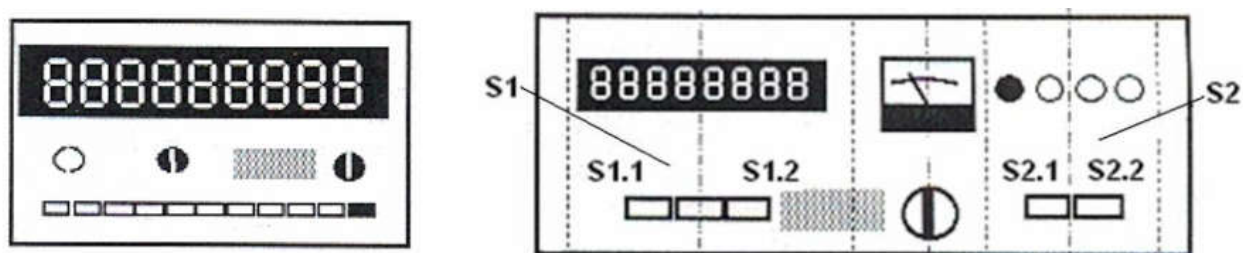


Рис. 8.10 - Примеры композиционного равновесия в асимметричных формах

В ЭС часто возникает задача размещения большого числа сходных по форме, размерам элементов (сигнальные лампочки, клавиши, табло, приборы и т.д.). В теории композиции известны два вида закономерной повторяемости: метрическая и ритмическая. Наиболее интересные композиционные возможности дает применение ритма. *Ритм* - закономерность в чередовании элементов, форм композиционного построения. Ритмическое чередование возникает тогда, когда имеются, по крайней мере, две группы элементы, которые чередуются не менее 3-х раз. Различается ритм общий, для всей лицевой панели (рисунок 8.11) и локальный (местный) внутри функциональной группы или области.

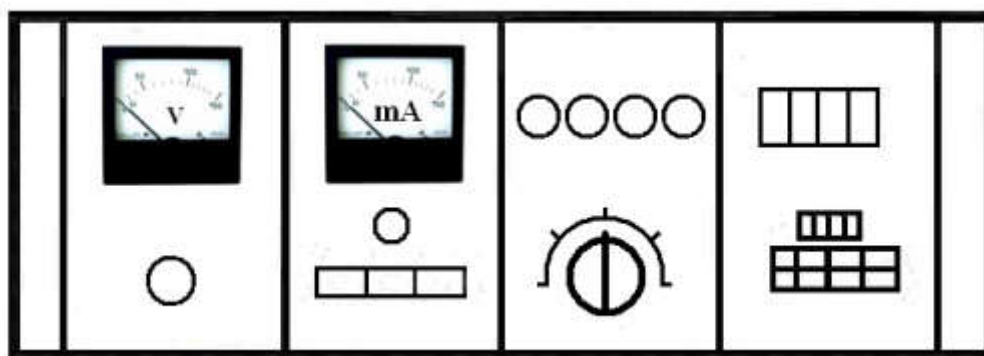


Рисунок 8.11 - Пример общего ритма, образованного выделением функциональных областей с помощью контурных линий

Характерным признаком ритма ЭС является повторение элементов формы и интервалов между ними, объединяемым по сходным признакам (равенство, контрастные, цветовые отношения). Эти признаки обуславливаются функциональной и конструктивной структурой лицевой панели.

Ритм помогает раскрытию назначения прибора, способствует ясности и четкости замысла в построении лицевой панели. Ритм делает лицевую панель и ее части цельными, законченными, выразительными. Простейшая и наиболее распространенная закономерность, на основе которой строится повторение формы и интервалов, представляет собой их равенство. Такой порядок носит название метрического повтора или метрического строя (рис. 8.12).

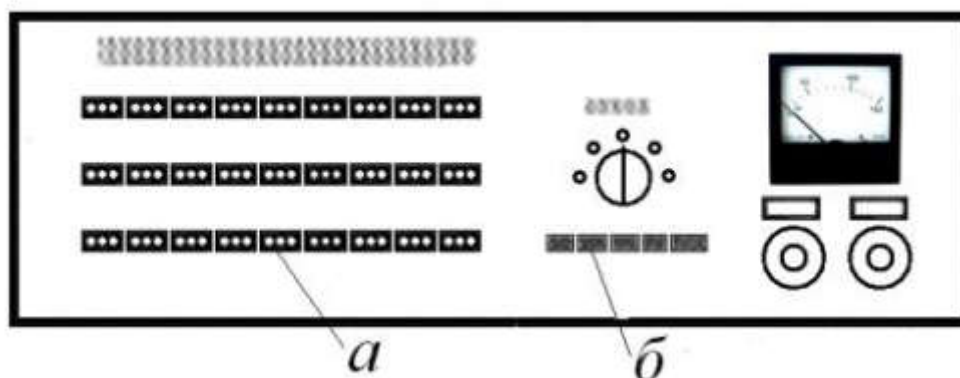


Рисунок 8.12 - Пример локальных ритмов у РС-генератора: а – локальный ритм типа метрический повтор в клавиатуре диапазона; б – метрический повтор в клавиатуре «режим»

Ритмические ряды, образованные на лицевой панели, способны придать композиции статичность или динамичность (движение). Фигуры, имеющие центр или ось симметрии, всегда статичны относительно их осей, рис. 8.13. Цилиндр, куб и параллелепипед статичны во всех направлениях.

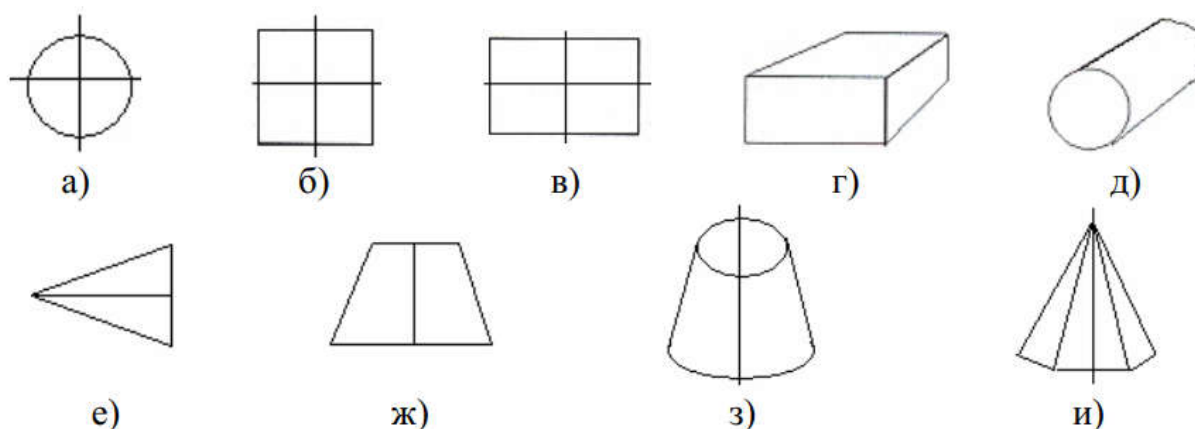


Рис. 8.13 - Примеры статичных и динамичных фигур: а-д - статичные фигуры; е-и - динамичные фигуры

Фигуры типа конуса статичны относительно оси симметрии, а вдоль нее они динамичны, так как по оси происходит симметричное изменение формы. Динамичность можно создавать и в статичной по форме фигуре с помощью членения ее в убывающем или возрастающем ритме (рис. 8.14).

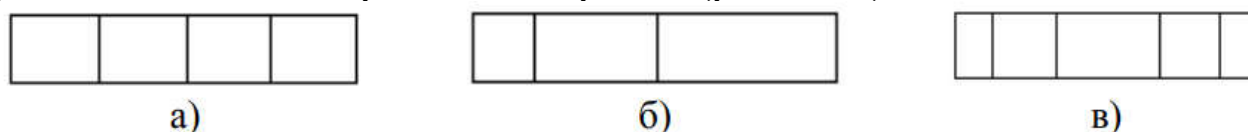


Рисунок 8.14 - Схемы ритмических членений лицевой панели: а – статическое решение; б – динамическое решение; в – динамическое членение с направленностью к оси симметрии

Одним из сложных вопросов композиционного построения является вопрос масштабного соответствия и масштабной соразмерности изделий. Прежде всего, масштабность обеспечивается за счет соразмерности изделия, его частей и элементов по отношению к человеку, которая базируется на данных антропометрии. Также она проявляется через масштабность изделия по отношению к предметному окружению интерьера или комплексу оборудования, в состав которого оно входит. Наконец, она определяется внутренней композиционной масштабностью элементов изделия между собой, между элементами и частями изделия, а также между ними и изделием в целом.

Усиление эстетических свойств композиции можно произвести использованием мощных средств — *контраста* и *нюанса*. Они, как правило, присутствуют одновременно в композиционном



решении ЛП, придавая особую выразительность композиции в целом. Контраст проявляется в размерах, фактуре, яркости, цвете элементов ЛП и т.п. Нюанс (незначительное изменение признака) дополняет контраст и придает композиции в целом мягкость восприятия формы. *Композиционный контраст* - противопоставление, выделение элементов или частей лицевой панели по форме, цвету, размеру, расположению. Используется, чтобы оттенить, подчеркнуть важность, значимость, того или иного элемента (части) лицевой панели.

Различается контраст *общий* - для всего прибора (рис.8.15) и *местный* - для функциональной группы, области.

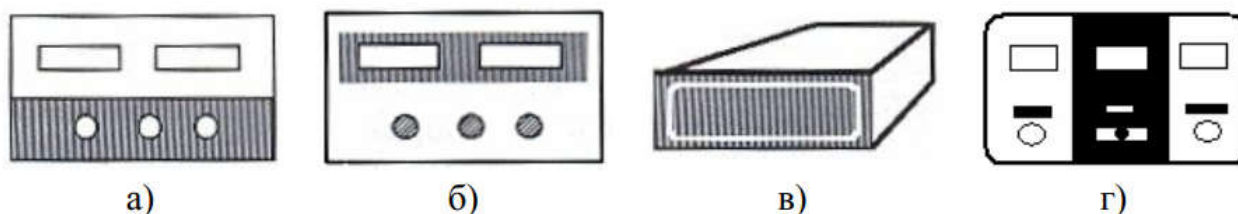


Рисунок 8.15 - Примеры общего контраста лицевой панели: а – темная нижняя часть создает ощущение массивности, устойчивости; б – светлая нижняя часть создает ощущение легкости, облегчает работу с регуляторами; в – контрастное выделение в корпусе ЛП и выделение функциональной области с помощью светлой полосы; г – контрастное выделение важной функциональной области

### Цветофактурная проработка лицевой панели

Художественно-конструкторский уровень ЭС во многом зависит от качества поверхностей материалов и покрытий формообразующих элементов конструкций, в том числе и от качества лицевой панели изделия. К декоративным свойствам, определяющим внешний вид изделия, относятся фактура, текстура и цвет.

Для современных ЭС, характеризующихся лаконизмом геометрической формы, особое значение приобретают вопросы внешней отделки и обработки поверхности, гармоничности цветового решения.

Разработку цветового и фактурного решения и правильный выбор декоративных материалов и покрытий можно осуществить



лишь при учете комплекса требований, предъявляемых к изделию, а именно: эксплуатационных, эргономических, эстетических, технологических и т.п.

Выбор цветового решения ЛП, зоны сосредоточения основного внимания оператора, должен основываться на следующих принципах:

- функциональной целесообразности применения цвета;
- цветовой гармонии;
- достижения композиционной целостности панели, прибора, комплексов и систем оборудования.

Кроме того, подбор цвета ЛП должен производиться с учетом особенностей психофизиологического воздействия их на человека и объективных условий восприятия. При использовании цветового зонирования ЛП, а также при поиске цветового решения индикаторов (фона шкалы, цвета подсветки), внешних установочных элементов органов управления и коммутации необходимо помнить о роли цвета как средства кодирования (информации) и средства композиции. Правильно подобранные цвета стимулируют внимание, вызывают положительные эмоции, компенсируют или снижают зрительное утомление, которое сказывается на остроте зрения, скорости восприятия, контрастной чувствительности и др. Каждый цвет обычно определяют тремя характеристиками:

- цветовым тоном;
- насыщенностью;
- светлотой.

Они в основном и определяют характер и степень психофизиологического воздействия на человека. Следует заметить, что наиболее отчетливо проявляется влияние того или иного цвета при его максимальной насыщенности. Эмоциональное воздействие цветов связано не только с характером психофизиологического влияния, но и, в частности, с символикой цвета, индивидуальным опытом человека и т.д. В деятельности оператора, характеризующейся высокой рациональностью, целеустремленностью и ответственностью, резко снижено влияние обычных ассоциаций, по-иному оцениваются и эстетические критерии.

При выборе цветового решения ЛП необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации ЭС:

- особенность освещения рабочего места;
- дальность и ракурс наблюдения;
- цветовое окружение (т.е. цвет собственного кожаного шкафа, стойки, комплекса оборудования и т.д.).

Для окраски ЛП стремятся брать тона из группы физиологически оптимальных. К ним относятся цвета средневолновой части спектра малой насыщенности (не более 40 %) и относительно большого коэффициента отражения (50...70 %). Их всего 27 оттенков: оранжевый, желтый, желто-зеленый, зеленый, зелено-голубой, голубой, сине-голубой и др.

Наиболее общим соображением при составлении цветовых схем является достижение одинаковой привлекательности всех цветов. Для этого более ярким и насыщенным цветам отводят меньшую площадь, менее ярким — большую, чтобы суммарный эффект при восприятии был выровнен. Стараются не применять на больших поверхностях мрачные темные тона, которые поглощают свет и оказывают отрицательное эмоциональное воздействие.

На эмоциональное состояние человека и его эстетическое восприятие влияют не только отдельные цвета, но и их комбинации и сочетания. Они могут быть гармоничными, вызывающими приятные ощущения, и дисгармоничными, вызывающими неприятные чувства. Принцип цветовой гармонии является одним из основных, обеспечивающих композиционную целостность формы. Для ее достижения необходимо использовать цвет, учитывая его основные характеристики (цветовой тон, насыщенность и светлоту) и определенные сочетания. В основе систематизации цветов, как известно, лежит цветовой круг (рис.8.16).



Рисунок - 2.16. Цветовой круг

Сочетания цветов могут строиться по схеме трех основных гармоний:

- контрастной гармонии, основанной на сочетании взаимно противоположных цветов на цветовом круге, например красного и зеленого, оранжевого и синего и т.п.;

- нюансной гармонии, основанной на сочетании соседних или близко расположенных тонов на цветовом круге; для одинаковых цветов, обладающих разной насыщенностью, например зеленого и сине-зеленого, желтого и оранжевого и т.п.;

- гармонии «цветовой триады», основанной на сочетании трех цветов, равноотстоящих на цветовом круге, например красного, синего и желтого.

Для гармонизации цветовых сочетаний необходимо наличие между цветовыми компонентами определенной взаимосвязи (контраст или сходство по цветовому тону, светлоте или насыщенности). Общность по тону дает более положительный результат в гармоничности при изменении насыщенности или светлоты.

Существует три схемы эквитональности сочетаний:

- одного тона и равной насыщенности, но разной светлоты;
- одного тона и равной светлоты, но разной насыщенности;
- одного тона, но разной светлоты и насыщенности.

Получаются гармоничные сочетания хроматических и ахроматических цветов при равной и различной светлоте. Особенным положительным эффектом обладают сочетания теплых тонов с черным, а холодных — с белым.

При цветовом решении ЛП часто отмечается целесообразность использования контрастов, хотя длительное восприятие таких ЛП вызывает чрезмерное напряжение и утомление зрительного анализатора. Однако отсутствие контрастов действует усыпляюще, расслабляя внимание оператора.

В последнее время часто используемый темно-серый (асфальтовый) цвет панелей приборов имеет под собой реальную основу: высвечиваемая информация, для которой находят широкое применение люминесцентные, оптоэлектронные, светоизлучающие индикаторы, требует темного фона.

Количество цветов для окраски ЛП следует ограничивать. Для выделения группы элементов, зонирования, композиционного уравнивания рекомендуется двух-, трехцветная окраска.

Чтобы не дезорганизовать внимание оператора, количество цветов ручек управления на лицевой панели должно быть минимальным и не превышать двух-трех цветов. Цвет внешних установочных элементов должен подчиняться общей цветовой гамме прибора, рекомендуется использовать черный, белый, коричневый цвета, а предпочтительнее — серый.

Приведенные положения дают лишь некоторые из основных приемов согласования цветов, это связано с тем, что цветовая гармония — очень сложное явление, зависящее от многих обстоятельств.

### **Символы и надписи на лицевой панели и их компоновка**

Помимо ОУ и СОИ, на лицевых панелях содержится значительный объем графической информации в виде функциональных надписей, оцифровки регуляторов и переключателей, символов, мнемосхем.

Для выполнения надписей на лицевой панели обычно используется прямой рубленый шрифт. Буквы пишутся линиями

одинаковой толщины, без засечек, других дополнительных деталей, волнистостей. Каждая буква характеризуется высотой  $YS$ , шириной знака  $XS$ , толщиной обводки  $t$ , коэффициентом формы  $CF=XS/YS$ . Различают по начертанию:

$$CF = \begin{cases} > 0,8 - \text{широкое;} \\ 0,65 \pm 0,05 - \text{нормальное;} \\ < 0,5 - \text{узкое.} \end{cases}$$

По толщине обводки:

$$t/CF = \begin{cases} > 0,25 - \text{жирное;} \\ 0,6 \pm 0,05 - \text{полужирное (для заголовков);} \\ < 0,15 \pm 0,05 - \text{нормальное, светлое;} \\ < 0,1 - \text{сверхсветлое (для условных знаков).} \end{cases}$$

Примеры надписей: **ОММЕТР** – нормальное начертание, **ОММЕТР** – полужирное начертание. Расчет размеров надписей делается на основе схемы, показанной на рис.8.17.

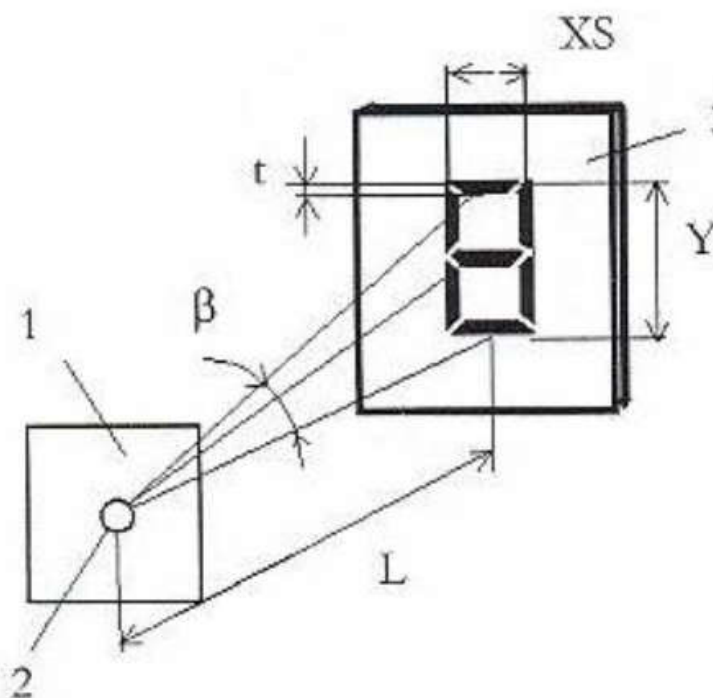


Рисунок 8.17 - Схема определения размеров символа: 1- плоскость точки зрения, 2-точка зрения, 3- плоскость символа, L-расстояние до

символа,  $\beta$ -угловой размер символа,  $t$ ,  $X_S$ ,  $Y_S$ -толщина обводки, ширина и высота символа

Минимально допустимая высота знака может быть определена как

$$Y_S = 2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2},$$

где  $L$  - расстояние до лицевой панели; - допустимый (минимальный) угловой размер знака. Для простых знаков  $\beta=15'$ , для сложных знаков  $\beta=30' \dots 40'$ .

Расстояние между знаками по горизонтали принимается равным половине ширины, а расстояние между знаками по вертикали – половине высоты знака.

На лицевой панели различают надписи: рабочие, командные, предупредительные (рис.8.18), рекламные, инструктивные.

В верхней части панели располагается полное наименование прибора, сокращенное обозначение типа, обозначение фирмы или товарного знака предприятия-изготовителя, торговая марка изделия.

Рабочие надписи предназначены для быстрого поиска нужных регуляторов, индикаторов, т.е. сопровождают безошибочное управление прибором. Это наиболее многочисленная группа надписей: ВХОД, ВЫХОД, единицы измерения величин и т.д.

Командные надписи — это обычно заголовки функциональных областей, они предназначены для оперативного нахождения разделов сложной функции приборов: РЕЖИМ РАБОТЫ, ДИАПАЗОНЫ.

Предупредительные (аварийные) указывает на опасность или на повышенное внимание в экстренных ситуациях работы с приборов: **ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ВНИМАНИЕ! ИЗЛУЧЕНИЕ**, и т.д.

Рекламные надписи используются для привлечения покупателей. Чаще всего для таких целей используются стилизованные, эмоционально-образные названия приборов.



Рисунок 8.18 - Примеры предупредительных надписей в виде табло

Инструктивные надписи используются, чтобы оперативно помочь оператору в сложных манипуляциях по управлению прибором, напоминают последовательность управляющих действий. Расстояние от глаза оператора до плоскости прибора выбирается исходя из удобства управляющих действий: нажатие клавиш, поворот ручек, перемещение движков, включение/выключение тумблеров. Для этого необходимо, чтобы плоскость лицевой панели, на которой находятся органы управления отстояла от оператора на расстоянии полусогнутой руки, т.е. примерно на 500 мм. Поэтому надпись должна находиться для безошибочного чтения на расстоянии  $L = 500 \pm 200$  мм. Минимальное расстояние в 300 мм характеризуется остротой нормального зрения, максимальная величина в 700 мм определяет среднюю длину вытянутой руки человека, т.е. возможность дотянуться рукой и сделать рабочее движение на лицевой панели. Командные надписи должны писаться крупнее, чем рабочие. Размер шрифта предупредительной (аварийной) надписи зависит от степени важности информации. Нередко они выполняются красным цветом.

Если имеется рекламное, стилизованное название прибора, то для привлечения внимания покупателя она делается яркой, красочной, более крупной, чем командная надпись. Широко используются художественные и, так называемые декоративно-художественные шрифты.

Инструктивные надписи применяются нечасто, пользуются ими тоже не всегда. Поэтому они, как правило, выполняются мелким шрифтом (по сравнению с рабочими надписями) и в обратном контрасте, чтобы не привлекать постоянной внимание и не вызывать нежелательного рассеяния внимания оператора. Определение размеров надписи выполняется следующим образом:

$$XN = NL * XS + (NL - 1) \cdot t,$$

где NL - количество букв в слове.

Если надпись состоит из нескольких слов, то расстояние между словами выбирается не менее ширины буквы (символа) XS. Если надпись делается в несколько строк, то расстояние между строками не менее высоты символа (буквы) YS. Надпись располагается симметрично относительно оси, проходящей через элемент лицевой панели, к которому она относится, рис.8.19.

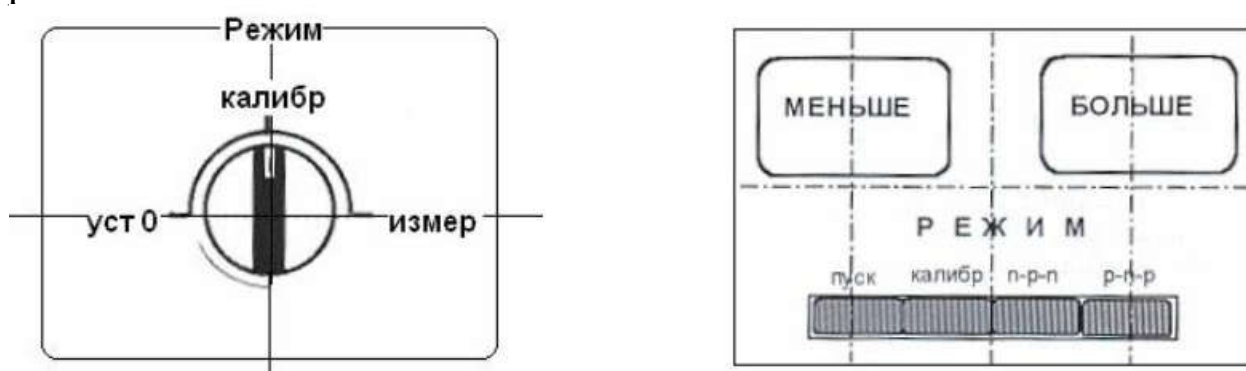


Рисунок 8.19 - Примеры разметки в функциональной группе

При определении размеров функциональной группы необходимо определить:

- размеры ручек управления;
- размеры надписей;
- размеры краевых полей.

На рис. 8.20 представлен пример определения размеров функциональной группы (кнопка включения и выключения прибора, надписи «ВКЛ» и «ВЫКЛ»), отвечающей за подключение прибора к сети 220 Вольт.



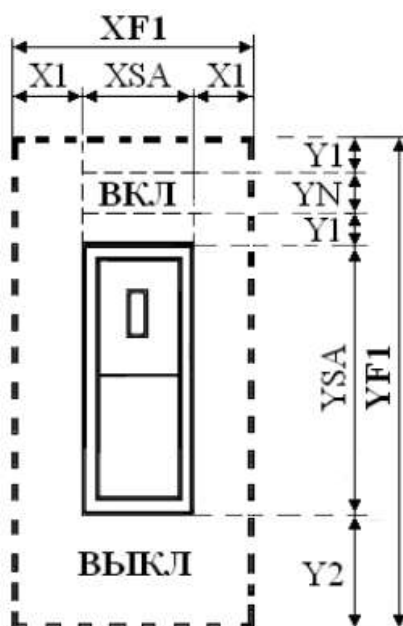


Рисунок 8.20 - Пример расчета размеров функциональной группы

Расстояние по координате  $X$  между элементами функциональной группы, а также краевые поля выбираются по следующему принципу:  $X_{i_{\min}} = X_S$ .

Расстояние по координате  $Y$  между элементами функциональной группы, а также краевые поля выбираются из условия:  $Y_{i_{\min}} = 0,5 \cdot Y_S$ .

На рис. 8.19 размер функциональной группы равен:

- по горизонтали  $X_{F1}$

$$X_{F1} = X_1 + X_{SA} + X_1;$$

- по вертикали  $Y_{F1}$  равен:

$$Y_{F1} = Y_1 + Y_N + Y_1 + Y_{SA} + Y_2,$$

где  $X_1$ ,  $Y_1$  – размеры краевых полей;  $X_{SA}$ ,  $Y_{SA}$  – размеры установочной области под кнопку;  $Y_2 = Y_1 + Y_N + Y_1$ . Помимо надписей, на лицевых панелях могут широко применяться символы, которые отражают объект управления или подключения (например, баланс стереоканалов, вход), а также состояние или процесс, являющиеся результатом управляющих действий (усреднение, нормализация, регулирование).

### Методика расчета размеров электронного блока

В качестве исходных данных выступают схема электрическая принципиальная и требования технического задания. При

определении размеров лицевой панели считают, что форма блока – параллелепипед, поэтому можно воспользоваться следующей последовательностью расчета размеров блока:

1. Определяют общее количество электрорадиоэлементов по схеме электрической принципиальной и их типоразмеры. Определяют выносные элементы (элементы управления, контроля, индикации, коммутации).

2. Находят объем и установочную площадь элементов по справочнику и с учетом возможных вариантов установки на печатную плату. Данные свести в таблицу 8.1:

Таблица 8.1

№	Тип элемента	Монтажный размер, $X \times Y \times Z$	Объем элемента $V_v$ , мм <sup>3</sup>	Количество, $n$	Общий объем $nV_v$ , мм <sup>3</sup>
1.					
2.					
3.					

При определении внутриблочного объема следует пользоваться упрощенными моделями элементов, представленных в виде параллелепипеда, описанного вокруг элемента.

3. Выбирают коэффициент заполнения объема блока  $K_V$ , в зависимости от вида аппаратуры и объекта установки ЭС (табл. 8.2).

Таблица 8.2 - Рекомендуемые значения коэффициентов заполнения объема блока

Вид аппаратуры	$K_V$			
	стационарная	возимая	морская	бортовая
Передающая	0,2	0,4	0,3	0,6...0,7
Приемная	0,4	0,5	0,5	0,7...0,8
Выпрямительная	0,5	0,6...0,7	0,6	0,8...0,9
Электронная	0,4...0,6	0,5...0,7	0,5...0,7	0,8...0,9
Управляющая и вычислительная	0,5...0,7	0,6...0,8	0,5...0,7	0,8...0,9
Бытовая	0,3...0,5	0,5...0,7	-	-
Измерительная	0,4...0,6	0,5...0,7	0,4...0,6	-

4. Определяют объем блока:

$$V_{\text{бл}} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{K_V} = \frac{V_N}{K_V},$$

где  $V_N$  - объем, занимаемый элементной базой и узлами. Подсчет общего объема элементов может производиться либо путем суммирования всех объемов элементов.

5. Задаются возможными габаритами блока, исходя из его объема:

$$S_{\text{бл}} = H \times B \times L,$$

где  $H, B, L$  – соответственно высота, ширина и глубина блока.

Габаритные размеры блока, определяемые в п.5, выбираются не произвольным способом, а на основе конструктивных систем и рядов предпочтительных чисел. В настоящее время для построения ЭС используют свыше двадцати конструктивных систем, обеспечивающих привязку проектируемых блоков к объекту установки или к отраслевой системе стандартов.

В качестве основополагающего стандарта, определяющего размеры стационарных, возимых и морских ЭС, выступает ГОСТ 20504-81 «Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры», разработанный на основе рекомендаций стандарта Международной электротехнической комиссии МС МЭК 297-1. Данный стандарт соответствует иерархическому построению конструкции РЭС, принятому в ГОСТ 26632-85 «Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств по функционально-конструктивной сложности. Термины и определения».

В основу построения размерных рядов по ГОСТ 20504-81 положен модуль в 20 мм. Высота  $H$ , ширина  $B$  и глубина  $L$  блока выбирается из рядов:

80; 120; 160; 240; 280 - по высоте  $H$ ;

20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 200; 220; 240; 280; 320; 360;

400; 440; 480 - по ширине  $B$ ;

240; 360; 480 - по глубине  $L$ .

Если разработчика ЭС по каким-либо причинам не устраивают приводимые типоразмеры корпусов, то он вправе воспользоваться модульным принципом агрегатирования на основе предпочтительных чисел (ГОСТ 8032-84).

Параметрические ряды, приведенные в ГОСТ 8032-84, строятся на основе общего члена:

$$a_k = a_0 + \kappa \cdot 10^m / R,$$

где  $a_0$  - кратно  $10^m/R$ ;  $R=5, 10; 20; 40; 80; 160$ ;  $m$  - целые числа.

При  $m=2$ ,  $R=5$  получают ряд Ra20, при  $R=10$  - ряд Ra10 и т.д. Базовые размеры  $a_0$  и шаг  $Da$  размерных рядов выбирают на основе компромисса между необходимостью построения достаточного для размещения различных РЭС набора и минимизацией числа типоразмеров. Система нормальных линейных размеров по ГОСТ 8032-84 приведена в табл. 8.2.

Ряд Ra5 входит в состав ряда Ra10, ряд Ra10 - в состав ряда Ra20; ряд Ra20 - в состав ряда Ra40. При выборе размеров ряд Ra5 следует предпочитать ряду Ra10; ряд Ra10 - ряду Ra20; ряд Ra20 - ряду Ra40.

Таблица 8.2 - Нормальные линейные размеры, мм

Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	R40
1,0			1,05			11	11,5		125		130
		1,1	1,15		12		13			140	150
	1,2		1,3			14	15	160			170
		1,4	1,5	16			17			180	190
1,6			1,7		20	18	19		200		210
		1,8	1,9			21	24			220	240
	2,0		2,1			22	26	250			260
		2,2	2,4	25			28			280	300
2,5			2,6			28	30		320		340
		2,8	3,0		32		34			360	380
	3,2		3,4			36	38	400			420
		3,6	3,8	40			42			450	480
4,0			4,2			45	48		500		530
		4,5	4,8		50		53			560	600
	5,0		5,3			56	60	630			670
		5,6	6,0	63			67			710	750
6,3			6,7			71	75		800		850
		7,1	7,5		80		85			900	950
	8,0		8,5			90	95	1000			
		9,0	9,5	100			105				
10			10,5			100					

В приложении В приведены примеры исполнений лицевых панелей ЭС различного назначения.

### Алгоритм выполнения заданий

*Исходные данные:* в качестве исходного задания выдается принципиальная электрическая схема электронного средства с описанием принципа ее действия, назначения средства и эксплуатационными условиями.

1. Составить перечень элементов индикации, управления и коммутации, устанавливаемых на переднюю или заднюю панели. Произвести разбиение элементов между передней и задней панелями. Данные представить в виде таблицы 8.1.

Таблица 8.1

№	Название элемента	Позиционное обозначение	Место установки	
			Лицевая панель	Задняя панель
1.				
2.				

2. Представить эскизы габаритов элементов, устанавливаемых на лицевую панель.

3. Определить для элементов лицевой панели необходимый внутриблочный объем и установочную площадь. Данные свести в таблицу 8.2:

Таблица 8.2

Название элемента	Монтажный размер, $X \times Y \times Z$	Объем элемента $V_i, \text{мм}^2$	Количество, $n$	Общий объем $nV_i, \text{мм}^3$

При определении внутриблочного объема следует пользоваться упрощенными моделями элементов, представленных в виде параллелепипеда, описанного вокруг элемента.

4. Произвести расчет потребного объема блока с учетом перечня элементов, располагаемых внутри блока, и элементов лицевой панели в соответствии с Методикой расчета.

5. Привести компоновочную схему (вид сверху и вид сбоку на блок) расположения основных деталей блока: печатные платы, трансформатор, системы охлаждения и т.д. По выбранной компоновочной схеме определить возможные геометрические размеры блока и лицевой панели.

6. Сформировать функциональные группы лицевой панели (по принципу «регулятор - индикатор – коммутация - надпись»). Заполнить таблицу 8.3.

Таблица 8.3

№	Функциональная группа	Органы управления	Индикаторы	Коммутация	Надписи
1.					
2.					

7. Определить размеры надписей. Результаты вычислений представить в виде таблицы 8.4.

Таблица 8.4

Надпись	L, мм	$\beta$ , град	Кол. букв $N_b$	Высота шрифта YS, мм	Толщина обводки t, мм	Ширина букв XS, мм	Длина надписи XN, мм

8. Определить габаритные размеры всех функциональных групп и привести их эскизы.

9. Определить минимально необходимые размеры лицевой панели. Если по результатам расчета размеры лицевой панели превышают размеры, определенные в п. 5, то произвести корректировку размеров блока.

10. Проработать возможные компоновочные схемы лицевой панели. Варьирование осуществляется расположением функциональных групп, изменением типов ОУ и СОИ, формы и размеров приводимых элементов, выполнением оцифровки шкал, расположением надписей. Определить траектории движения рук

оператора для каждой компоновочной схемы. В результате представить не менее трех компоновочных схем.

11. Произвести сопоставительный анализ компоновочных схем.

12. Выполнить чертеж окончательного варианта лицевой панели.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему проектирование лицевой панели является одним из важнейших этапов конструирования ЭС?

2. В чем заключается анализ исходных данных для компоновки лицевой панели?

3. На какие три функциональные зоны разбивают ЛП при компоновке СОИ, ОУ и средств коммутации? От каких параметров зависит расположение зон?

4. Сколько информационных объектов может одновременно контролировать человек?

5. Назовите три основных принципа структурирования ЛП.

6. Объясните сущность принципа группировки элементов ЛП для объединения в функциональные группы.

7. Что учитывает принцип взаимосвязи?

8. В каких зонах размещаются элементы и функциональные группы, получившие приоритет?

9. Каким образом учитывают асимметрию человеческого организма при размещении зоны индикации, зоны управления зоны коммутации?

10. Что относится к информационным элементам ЛП с точки зрения эргономического подхода?

11. Назовите практические рекомендации по расположению информационных элементов на ЛП.

12. Какие особенности зрительного восприятия человеком информации следует учитывать при композиционной разработке ЛП?

13. Для чего применяется асимметричное расположение элементов на лицевой панели?

14. Какие композиционные возможности дает применение ритма?
15. Что понимают под композицией лицевой панели?
16. Как определяют композиционное равновесие лицевой панели?
17. В каких случаях применяют композиционный контраст при разработке ЛП?
18. Назовите особенности составления цветовых схем для ЛП.
19. Какие рекомендации учитывают при выполнении символов и надписей на ЛП и их компоновке?

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Основы конструирования и технологии электронных средств : учебное пособие / С. П. Малюков, А. В. Палий, А. В. Саенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» ; Инженерно-технологическая академия. - Ростов-на-Дону|Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. - 106 с.
2. Практические расчёты при конструировании электронных устройств : учебное пособие / В. Т. Николаев, С. В. Купцов, С. В. Складов, В. Н. Тикменов ; под ред. В. Н. Тикменов. - Москва: Физматлит, 2017. - 352 с.
3. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: учебное пособие / Е. Ф. Жигалова; Министерство образования и науки Российской Федерации; Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск: ТУСУР, 2016. - 201 с.



**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**  
на разработку научно-технической продукции

По теме «**Разработка новой модели электростимулятора**  
**«Амплипульс»»**»

1. ЗАКАЗЧИК \_\_\_\_\_.
2. ИСПОЛНИТЕЛЬ \_\_\_\_\_.
3. Научный руководитель темы \_\_\_\_\_.
4. Классификация работ \_\_\_\_\_ *прикладная* \_\_\_\_\_.
5. Сроки выполнения: начало \_\_\_\_\_, окончание \_\_\_\_\_.
6. Цель работы *\_\_Разработка современной модели аппарата низкочастотной физиотерапии взамен выпускаемого в настоящее время аппарата «Амплипульс–5»*

---

## **7. Основные технические и иные требования к научно-технической продукции**

### 7.1. Назначение разрабатываемых технических средств.

Аппарат предназначен для лечебного воздействия модулированными синусоидальными токами низкой частоты для применения в физиотерапевтических кабинетах медицинских учреждений, а также в больничных палатах и домашних условиях.

### 7.2. Рабочие условия эксплуатации:

температура окружающей среды от 10 до 35<sup>0</sup> С;

относительная влажность воздуха до 80 % при температуре 25<sup>0</sup>С;

атмосферное давление от 86 до 106 кПа (от 650 до 800 мм рт. ст.);

напряжение питающей сети (220 ± 22 ) В.

### 7.3. Основные технические требования

7.3.1. Аппарат должен обеспечивать следующие лечебные виды воздействий (род работы):

«1» - непрерывное воздействие током несущей частоты с возможностью выбора различных коэффициентов модуляции и модулирующей частоты:

«2» – прерывистое воздействие серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с паузой;

«3» - непрерывное воздействие серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с сериями немодулированных колебаний несущей частоты;

«4» – непрерывное воздействие серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с сериями модулированных колебаний частотой 150 Гц;

«5» – прерывистое воздействие серий модулированных колебаний с возможностью выбора частоты и коэффициента модуляции, чередующихся с сериями модулированных колебаний частотой 150 Гц и паузой.

Кроме пяти режимов с устанавливаемыми параметрами должны быть предусмотрены типовые режимы, при которых регулируется только величина тока пациента.

7.3.2. Частота несущих колебаний синусоидальной формы ( $5000 \pm 100$ ) Гц.

7.3.3. Коэффициент гармоник несущих колебаний не более 10%.

7.3.4. Частота модулирующего напряжения синусоидальной формы устанавливается дискретно и принимает значения: 10, 20, 30, 50, 80, 100, 150 Гц.

7.3.5. Относительная погрешность установки частоты модулирующих колебаний не более 10%.

7.3.6. Коэффициент гармоник модулирующего напряжения в диапазоне частот от 30 до 150 Гц не более 10 %.

7.3.7. Коэффициент модуляции устанавливается дискретно и принимает значения: 0, 25, 50, 75, 100 % и  $> 100\%$  (режим перемодуляции).

Абсолютная погрешность установки коэффициента модуляции во всем диапазоне не более  $\pm 15\%$ .

7.3.8. Длительность серий и пауз устанавливается дискретно в соотношении 1: 1,5; 2:3 ; 4:6 с во «2», «3», «4» режимах.

Для режима работы «5» соотношение двух модулируемых серий устанавливаются такими же, а длительность суммы двух серий и длительность паузы составляют 2,5; 5 и 10 с ; погрешность длительности серий и пауз не более  $\pm 10\%$  .

7.3.9. Время нарастания и спада тока в сериях для режимов работы «2» и «5» составляет ( $200 \pm 20$ ) мс; ( $400 \pm 40$ ) мс и ( $800 \pm 80$ ) мс при установленных длительностях серий и пауз 1:1,5; 2:3; 4:6 соответственно.

7.3.10. Аппарат обеспечивает регулировку тока пациента от 0 до 100 мА на активной нагрузке ( $250 \pm 50$ ) Ом и до 30 мА на нагрузке ( $1 \pm 0,1$ ) кОм при коэффициенте модуляции 100% , при этом максимальное значение установленного тока пациента на нагрузке 300 Ом при нормальных условиях отличается от номинального не более чем на  $\pm 10\%$ .

7.3.11. Ток пациента устанавливается плавно в трех диапазонах:

0 – 100 мА; 0 – 20 мА; 0 – 10 мА.

7.3.12. В аппарате обеспечивается блокировка переключения диапазонов тока пациента при введенном регуляторе тока.

7.3.13. Измерение среднеквадратичного значения тока пациента производится внутренним цифровым измерителем тока.

Погрешность измерения тока  $\pm(1 \text{ мА} + 0,05 I_{\text{п}})$  во всех диапазонах (где  $I_{\text{п}}$  – установленное значение тока пациента, в мА).

7.3.14. Процедурный таймер аппарата индицирует устанавливаемое и оставшееся время процедуры в пределах от 1 до 99 минут, а по истечению установленного времени процедуры выдает звуковой сигнал и производит автоматическое выключение тока пациента с блокировкой выключенного состояния при введенном регуляторе тока.

7.3.15. В интервалах между процедурами на индикационном устройстве должно отображаться текущее время и температура в помещении.

7.3.16. Индикация выбранного режима работы, параметров стимулирующего сигнала, текущего времени и температуры в помещении осуществляется с помощью светодиодов или жидкокристаллического дисплея.

7.3.17. Аппарат должен иметь выносной пульт управления пациента, дублирующий кнопки «Пуск» и «Конец процедуры» и ручку плавной регулировки тока пациента.

7.3.18. Аппарат должен обеспечивать работу в одноканальном и двухканальном режимах. При работе в двухканальном режиме используется поочередная работа каналов ( в тех случаях , когда применяются режимы «2» и «5», причем серии модулированных колебаний одного канала соответствуют паузам второго канала с регулируемой задержкой начала серии второго канала от конца серии первого канала от 0 до 50% от длительности серии). При этом токи каждого канала регулируются отдельно.

Рассмотреть возможность создания одновременного наличия сигналов в двух канальном режиме.

7.3.19. Аппарат выдерживает без нарушения работоспособности короткое замыкание цепи пациента в течении 10 минут.

7.3.20. По условиям электробезопасности аппарат должен удовлетворять ГОСТ Р502670-92 «Изделия медицинские электрические. Общие требования безопасности».

7.3.21. Ток утечки аппарата не превышает следующих значений:

- на корпус: в нормальном состоянии 0,1 мА;  
при единичном нарушении 0,5 мА;
- на пациента: в нормальном состоянии 0,1 мА;  
при единичном нарушении 0,5 мА.

7.3.22. Электрическая изоляция между частями аппарата выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия испытательное переменное напряжение частотой 50 Гц:

- сетевая цепь – доступные для прикосновения части 4000 В;
- сетевая цепь – рабочая часть 4000 В;
- доступные для прикосновения части – рабочая часть 1500 В.

7.3.23. Электрическое сопротивление изоляции между частями аппарата не менее:

- сетевая цепь – доступные для прикосновения части 7 МОм;

сетевая цепь – рабочая часть 7 мОм;

доступные для прикосновения части – рабочая часть 5 мОм.

7.3.24. Аппарат обеспечивает свои технические характеристики по истечении времени установления рабочего режима, равного 1 минуте.

7.3.25. Аппарат допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение не менее 8 ч при сохранении своих технических характеристик.

7.3.26. Аппарат сохраняет свои технические характеристики при питании его от сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22)$  В, частотой 50 Гц.

7.3.27. Мощность, потребляемая аппаратом от сети питания при номинальном напряжении – не более 40 ВА.

7.3.28. Установленная безотказная наработка не менее:

$$T_y = 1000 \text{ ч.}$$

Средняя наработка на отказ не менее:

$$T_o = 4000 \text{ ч.}$$

Критерий отказа – состояние, при котором аппарат не удовлетворяет требованиям любого из пп. 3.1 – 3.13.

7.3.29. Установленный срок службы при средней интенсивности эксплуатации 3 ч в сутки не менее 2 лет.

Средний срок службы не менее 4 лет.

Критерий предельного состояния: неустранимое нарушение требований электробезопасности; невозможность или нецелесообразность восстановления изделия на соответствие пп. 3.1 – 3.13.

7.3.30. Габаритные размеры не более:

аппарата 300x250x100 мм;

укладочного ящика для аппарата и ЗИП 550x350x110 мм

7.3.31. Масса не более:

аппарата 4 кг

аппарата с укладочным ящиком для ЗИП 8 кг

*Требования являются предварительными и уточняются в процессе выполнения работы. Применяемая элементная база согласуется с заказчиком.*

---

7.4. Требования к конструкции аппарата.

7.4.1 Конструкция должна обеспечивать удобство при переноске аппарата.

7.4.2. Дизайн аппарата должен соответствовать современным требованиям технической эстетики и эргономики.

7.5. Технологические требования.

7.5.1. Аппарат должен обладать более высокой технологичностью в изготовлении за счет реализации максимально возможного числа выполняемых функций программными средствами с помощью встраиваемого микропроцессорного устройства.

7.5.2. Электронные устройства аппарата должны проектироваться с использованием двухсторонних печатных плат с поверхностным монтажом.

7.5.3. За счет введения встраиваемого микропроцессора и использования современной элементной базы должны быть снижены: материалоемкость, габариты, масса и энергопотребление, а также трудоемкость изготовления.

## 8. Передаваемые Заказчику результаты работы.

Наименование передаваемых результатов	Вид передаваемой продукции	Сроки передачи
Структурная схема	чертеж	1 этап
Описание алгоритмов работы электростимулятора	текстовая документация	1 этап
Принципиальные электрические схемы и перечни элементов.	чертежи	2 этап
Описание принципиальных схем	текстовая документация	2 этап
Эскизные чертежи конструкции	чертежи	2 этап
Макетный образец прибора	макет	3 этап
Протокол лабораторных испытаний макетного образца	текстовая документация	3 этап
Техническое описание прибора	текстовая документация	4 этап
Разводка печатной платы	чертеж, файл в формате PCAD	4 этап
Управляющая программа прибора	файл и листинг	4 этап

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**





Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
		Микросхемы		
	DA1, DA2	1481CA1P АЕЯР.431350.431-01ТУ	2	
	DD1, DD2	1554ЛП5ТБМ АЕЯР.431200.182-09ТУ	2	
	DD3	1554ЛП5ТБМ АЕЯР.431200.182-09ТУ	1	
	DD4...DD7	1554ТМ2ТБМ АЕЯР.431200.182-13ТУ	4	
	DD8	1554ЛИ1ТБМ АЕЯР.431200.182-08ТУ	1	
	DD9	1554ЛА1ТБМ АЕЯР.431200.182-07ТУ	1	
	DD10, DD11	1554ТМ2ТБМ АЕЯР.431200.182-13ТУ	2	
	DD12	1554ЛА3ТБМ АЕЯР.431200.182-07ТУ	1	
	DD13	1554ЛИ1ТБМ АЕЯР.431200.182-08ТУ	1	
	DD14...DD16	1554ИЕ18ТБМ АЕЯР.431200.182-03ТУ	3	
	DD17	1887BE4У АЕЯР.431280.537ТУ	1	
	DD18	AS7C1026A-15JI	1	
	DD19	1554ИР37ТБМ АЕЯР.431200.182-12ТУ	1	
	DD20, DD21	DS1023S-50+	2	
	DD22, DD23	1554ЛА3ТБМ АЕЯР.431200.182-07ТУ	2	
	DD24	1554ЛЛ1ТБМ АЕЯР.431200.182-07ТУ	1	
	DD25	1554ЛП5ТБМ АЕЯР.431200.182-09ТУ	1	
	G1	Генератор ГК-54-ТС-20М-Б-1А АДКШ.433530.003-ТУ	1	
		Дроссели РКМУ.671340.002ТУ		
	L1	КИК2012-820 нГн ±2% О	1	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					2



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Примеры исполнения лицевых панелей ЭС различного назначения

#### Источники вторичного питания



## Усилитель низкой частоты



## Осциллографы



## Генераторы

