



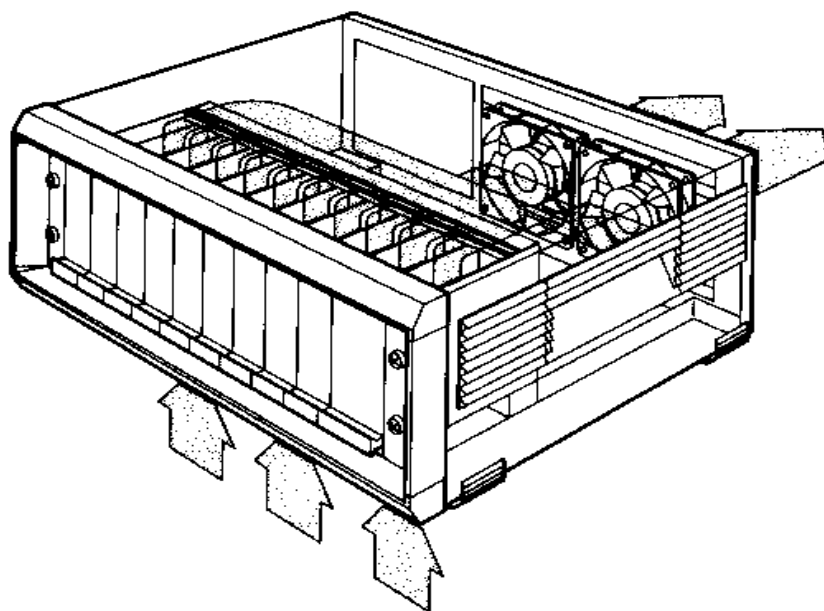
Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

---

Кобрин, В. Г. Козлов, А.К.Кондаков

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методическое пособие по курсовому проектированию  
для студентов специальности  
«Проектирование и технология радиоэлектронных средств»



Томск 2006

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Ю.П. Кобрин, В. Г. Козлов, А.К.Кондаков**

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Методическое пособие по курсовому проектированию  
для студентов специальности  
«Проектирование и технология радиоэлектронных средств»

Томск 2006

**Рецензент:** профессор кафедры КИПР ТУСУР,  
д.т.н. Татаринов В.Н.

**Технический редактор:** доцент кафедры КИПР ТУСУР,  
к.т.н. Озеркин Д.В.

**Кобрин Ю.П., Кондаков А.К., Козлов В.Г.**

Основы проектирования электронных средств. Методическое пособие по курсовому проектированию для студентов специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006. –141 с.

Пособие предназначено для использования при выполнении курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования электронных средств» студентами всех форм обучения специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». Оно может быть использовано и при выполнении дипломных проектов студентами всех специальностей радиотехнического профиля. В пособии подробно проанализированы и освещены проблемы, возникающие в ходе выполнения курсового проекта по разработке конструкции изделия РЭС третьего структурного уровня. Сформулированы основные задачи курсового проекта, приведены методические указания по выполнению всех стадий проектирования. Даны необходимые теоретические и справочные данные, необходимые для выполнения курсового проекта, что позволяет свести к минимуму потребность в дополнительной литературе для студентов. При выполнении чертежей курсового проекта необходимо использовать системы КОМПАС, AutoCad, SolidWorks, CorelDraw. Для более детального знакомства с вопросами, изложенными в пособии, в нём приведены ссылки на обширный список нормативной и технической литературы.

© Кобрин Ю.П., Козлов В.Г., Кондаков А.К. 2006  
© Кафедра КИПР Томского государственного  
университета систем управления и радиоэлектроники,  
2006.

## ВВЕДЕНИЕ

Слово **проект** происходит от латинского слова *projektus* (брошенный вперёд). В современном понимании проект – это совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальное (эскизный проект) и окончательное (технический проект) решение, дающее необходимое представление об устройстве создаваемого изделия и исходные данные для разработки рабочей документации.

**Проектирование изделий** – это разработка комплексной технической документации (проекта), содержащей технико-экономические обоснования, расчёты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для производства изделий [1]. Государственный стандарт (ГОСТ 22487-77) определяет проектирование как комплекс работ по изысканиям, исследованию, расчётам, конструированию и оптимизации, имеющих целью получение описания, необходимого и достаточного для создания еще не существующего нового изделия или алгоритма его функционирования, удовлетворяющих заданным требованиям.

В процессе проектирования электронных средств (ЭС) прогнозируется некоторая будущая структура на основании технического задания и совокупности знаний, накопленных в рассматриваемой предметной области. В формируемой проектной документации находятся и отражаются найденные между частями конструкции ЭС связи. При этом стремятся максимально использовать опыт проектирования похожих объектов. Вместе с тем, за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более совершенной элементной базы и структуры, усовершенствованных конструкций и передовых технологических процессов, новые ЭС должны быть гораздо **качественнее** и **эффективнее** своих аналогов и прототипов.

Проектирование современных ЭС – сложнейший, трудоемкий процесс, в котором должным образом нужно координировать весь комплекс вопросов по обеспечению условий технической эксплуатации, экономичности ЭС, эффективности системотехнических, схмотехнических, конструкторских и технологических решений.

В проектировании ЭС можно выделить три этапа:

- системное проектирование;
- функциональное проектирование;
- техническое проектирование.

Каждый последующий этап включает все предыдущие и, кроме того, решает некоторые новые задачи. Особенность системного подхода состоит в стремлении построить целостную картину исследуемого объекта.

Конструирование ЭС, являющееся важной частью проектирования изделий, – это процесс поиска, нахождения и отражении в конструкторской документации формы, размеров и состава изделия, входящих в него деталей и узлов, используемых материалов, комплектующих изделий, взаимного расположения частей и связей между ними, указаний на технологию изготовления –

с целью обеспечить производство изделия с заданными свойствами при наименьшей трудоёмкости изготовления [2 - 7].

Конструкция ЭС должна быть пригодной для повторения в производстве и способной сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Пригодность конструкции изделия к использованию по назначению определяется качеством конструкции изделия, которое оценивается совокупностью свойств, присущих изделию. Показатели качества могут быть отражены в комплексной технической документации, в том числе в КД.

Проектирование современных электронных средств (ЭС) заключается в принятии множества проектных решений по принципам действия функциональных узлов (ФУ), их схемам и построению конструкции, по элементной базе, а также по совокупности технологических процессов, предлагаемых для использования при их изготовлении, решению основных проблем технической эксплуатации [2 - 7]. Это процесс непрерывного уточнения модели проектируемого ЭС от замысла в виде технического задания до готового проекта.

Преодолевая многообразные противоречия технического задания, проектировщик в процессе создания изделия ЭС стремится выбрать оптимальную пространственную компоновку узлов и блоков, составляющих конструкцию ЭС, обеспечить их электрическое и механическое соединение и защиту от неблагоприятных воздействий внешних факторов и помех.

Первостепенное требование при проектировании ЭС заключается в том, чтобы создаваемое устройство было эффективнее своего аналога, т.е. превосходило его по качеству функционирования, степени миниатюризации и технико-экономической целесообразности. Конструктор в процессе проектирования должен опираться на опыт работы высококвалифицированных разработчиков радиоаппаратуры, широко применять информационные технологии проектирования РЭС, многочисленные решения, основанные на использовании ГОСТов, ОСТов и другой нормативно – конструкторской документации.

Такой системный подход способствует в процессе проектирования ЭС выполнению основных требований, сформулированных в техническом задании на проект:

- обеспечению нормальных режимов работы изделия (защиту от влаги, тепловых, механических, радиационных, биологических, электромагнитных воздействий);
- снижению стоимости и энергопотребления;
- уменьшению габаритов и массы;
- всемерному применению современных высоконадежных микроэлектронных электрорадиоэлементов;

- увеличению степени интеграции, микроминиатюризации межэлементных соединений и элементов несущих конструкций;
- обеспечению электромагнитной совместимости;
- улучшению интенсификации теплоотводов;
- широкому внедрению методов оптимального проектирования;
- высокой технологичности, однородности структуры;
- максимального использования стандартизации;
- результативному формированию и удобной корректировке текстовой и графической конструкторско – технологической документации.

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Предметом курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования электронных средств» является разработка конструктивно законченного электронного устройства, его сборочных единиц и деталей и представление полученных результатов проектирования в виде комплекта конструкторской документации.

### **При работе над курсовым проектом необходимо знать:**

- принципы действия радиотехнических устройств и систем;
- особенности компоновки ЭС;
- свойства материалов и их проявления в различных условиях эксплуатации;
- технологию изготовления отдельных деталей и сборочных единиц;
- автоматизированные методы проектирования конструкций и технологических процессов;
- условия эксплуатации ЭС и методы защиты ЭС от дестабилизирующих факторов (теплообменные процессы, вибрации и удары, воздействие электромагнитных полей, радиации, влаги и т.д.);
- вопросы стандартизации, унификации и технологичности;
- правила оформления конструкторской документации и многое другое.

Перечисленные вопросы невозможно охватить сразу в полном объеме, поэтому главными задачами, поставленными перед студентами при выполнении курсового проекта, являются:

1) закрепление теоретических знаний по дисциплине "Основы проектирования электронных средств" (ОПЭС) и по предшествующим конструкторским дисциплинам;

2) развитие навыков самостоятельного решения инженерных задач конструирования ЭС.

При выполнении курсового проекта студент должен получить навыки по конструированию, в частности:

- 1) по составлению технического задания (ТЗ) на конструирование;
- 2) по конструкторскому анализу принципиальной электрической схемы;

3) по формированию на основе анализа схемы функциональных узлов (ФУ);

4) по разработке наилучшего варианта компоновки изделия;

5) по разработке конструкции ЭС с учетом требований эргономики и технической эстетики, технологичности, ремонтпригодности, эксплуатационной надежности;

6) по разработке конструкторских документов (КД) на составные части изделия - сборочные единицы и детали ЭС;

7) по составлению текстовых КД (спецификации, перечня элементов принципиальной электрической схемы, пояснительной записки);

8) по разработке конструкторских документов (КД) на электромонтаж изделия;

9) по обоснованному выбору защиты проектируемой конструкции изделия и обеспечения её работоспособности с позиций теплового режима, электромагнитной совместимости, воздействия влажности, вибраций, ударов и других дестабилизирующих факторов;

10) по обоснованному назначению допусков на детали;

11) систематизация и расширение теоретических знаний при решении комплексных задач создания современных конструкций ЭС;

12) совершенствование схмотехнических, конструкторских и графических навыков;

13) практическое применение компьютерной техники при проектировании;

14) изучение справочной и технической литературы по проектированию ЭС;

15) изучение единой системы конструкторской документации (ЕСКД);

16) подготовка к самостоятельному решению сложных конструкторских задач при выполнении дипломного проекта и последующей работы на промышленных предприятиях.

Таким образом, курсовое проектирование по дисциплине «Основы проектирования электронных средств» ставит своей целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических знаний в области проектирования ЭС, развитие конструкторских и расчетных навыков, а также самостоятельности в работе.

## 2 КОМПЛЕКТНОСТЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Комплект конструкторских документов курсового проекта должен состоять из следующих документов:

1) пояснительная записка (ПЗ);

- 2) техническое задание;
- 3) спецификация изделия;
- 4) сборочный чертеж изделия;
- 5) схема электрическая принципиальная изделия;
- 6) перечень элементов;
- 7) спецификация сборочной единицы, входящей в изделие;
- 8) чертеж сборочной единицы;
- 9) конструкторский документ для электрического монтажа изделия;
- 10) чертежи деталей.

Примечание: Чертеж сборочной единицы и чертежи деталей изделия, подлежащие разработке в проекте, указывает руководитель курсового проектирования.

Сборочные единицы и детали несущих конструкций выбираются для разработки в курсовом проекте из следующих соображений:

1) сборочные единицы должны быть составными частями изделия в целом. Например, каркас, кожух изделия, лицевая панель изделия, функциональный узел, в состав которого, кроме печатной платы, входят другие детали и сборочные единицы;

2) номенклатура разрабатываемых деталей выбирается так, чтобы студент имел возможность продемонстрировать навыки обоснованного выбора материалов и способов изготовления деталей.

Конструкторские документы курсового проекта должны быть выполнены в соответствии с требованиями [1].

### 3 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В начале семестра руководитель проекта выдает каждому студенту индивидуальное задание на курсовое проектирование. В нем указываются срок выдачи задания, сроки проведения промежуточного контроля выполнения отдельных этапов проектирования и дата защиты проекта.

Задание оформляется на специальном бланке, в котором указываются:

- тема проекта;
- исходные данные к проекту;
- перечисляются этапы проектирования;
- объем и содержание альбома конструкторской документации;
- объем и содержание расчетно-пояснительной записки;
- рекомендуемая литература;
- дополнительные указания к проекту.

Пример задания на курсовой проект приведен в приложении 1.



После анализа студентом индивидуального задания на курсовое проектирование и уточнения совместно с руководителем проекта объема и содержания работ, необходимо разработать расширенное частное технического задание (ЧТЗ) на проектируемое изделие.

**Тема проекта.** В ходе курсового проекта необходимо разработать конструктивно-законченное устройство ЭС определенного назначения: радиоприемники, радиопередатчики, усилители, источники вторичного электропитания, контрольно-измерительная аппаратура, медицинские и бытовые приборы, устройства охранной сигнализации и т.п. При выборе темы проекта рекомендуется отдавать предпочтение функционально законченным ЭС. Поощряются реальные темы курсовых проектов.

По конструктивной сложности разрабатываемое ЭС должно быть не ниже 3-го структурного уровня иерархии ЭС и выполнено с учетом стадий проектирования по ЕСКД. Варианты тем курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования ЭС» выдаются руководителем курсового проектирования индивидуально каждому студенту.

**Исходные данные к проекту.** Исходными данными для проекта являются:

1) схема электрическая принципиальная подлежащего разработке устройства с описанием его работы, с перечнем входящих в схему электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и их параметров;

2) электрические требования с указанием данных, наиболее характерных для разрабатываемого устройства, например, для радиоприемного устройства: чувствительность, избирательность, рабочий диапазон частот и другие; для радиопередающего устройства: стабильность частоты, выходная мощность, рабочий диапазон частот и т.д.;

3) условия эксплуатации проектируемого устройства. В зависимости от климатических особенностей местности, где оно будет работать, рода объекта (корабль, самолет, спутник и т.д.) и других причин, условия эксплуатации проектируемого изделия задаются указанием в расширенном техническом задании конкретных количественных показателей воздействия. Например, самолетная РЭС: устойчивость к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150-69, к механическим - по ГОСТ 16019-78 и ГОСТ 17676-81; условия хранения и транспортирования по ГОСТ 15150-69;

4) технико-экономические требования задаются серийностью производства проектируемого устройства, объемом предполагаемого выпуска и группой изделия в зависимости от стоимости его разработки и производства (1, 2, 3 группы). К 1-й группе относится аппаратура, стоимость которой должна быть минимальной. Это в основном аппаратура бытового назначения. К 2-й группе относится аппаратура, стоимость разработки и производства которой имеет существенное, но не первостепенное значение (медицинская аппаратура, радиостанции низовой народнохозяйственной радиосвязи и др.). К 3-й группе относится аппаратура, к

которой предъявляются жесткие требования по обеспечению заданных технических характеристик.

### **Объём и содержание графических работ.**

Графическая часть проекта включает комплект чертежей на разрабатываемое изделие объемом не менее 6 листов формата А4 по ГОСТ 2.301-68, выполненных с использованием компьютерных пакетных программ (КОМПАС, AutoCad, Corel Draw, Solid Works и др.):

- схема электрическая принципиальная проектируемого изделия РЭС с перечнем применяемых электрорадиоэлементов;
- сборочный чертеж проектируемого изделия и спецификация к нему;
- электромонтажный чертеж проектируемого изделия;
- чертеж сборочной единицы изделия и спецификация к нему;
- два чертежа деталей проектируемого устройства (один из них – деталь с надписями и покрытием).

Сборочные чертежи изделия и его составных частей должны соответствовать требованиям ГОСТ 2.109-73. Сборочный чертеж необходимо выполнять по требованиям ОСТ 4ГО.010.030 и ГОСТ 2.413-72.

Спецификации изделия и входящих в него сборочных единиц должны быть составлены согласно требованиям ГОСТ 2.108-88.

Конструкции деталей и сборочных единиц должна предполагать прогрессивные способы их изготовления, обеспечивающие наименьшую суммарную трудоемкость подготовки производства и изготовления изделия в целом.

Чертежи деталей должны быть выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73, иметь требуемое число проекций и все размеры, необходимые для их изготовления. Размеры деталей должны иметь допуски, обеспечивающие сборку узла, в который входит деталь без дополнительной подгонки. На чертеже должны быть указаны чистота обработки поверхности детали и материал, из которого изготавливается данная деталь, его сортамент и государственный стандарт или технические условия для поставки материала.

Конструкторский документ для электрического монтажа выполняется по ГОСТ 2.413-72

**Объём и содержание расчетно-пояснительной записки.** Расчетно-пояснительная записка должна состоять не менее чем из 20 печатных листов, выполненных с использованием текстового редактора Word. Пояснительная записка должна включать:

- техническое задание (ТЗ) на курсовой проект;
- введение;
- анализ схемы электрической принципиальной;
- конструкторский анализ ТЗ и обоснование конструкции устройства;
- расчет массогабаритных показателей устройства;

- расчет резонансной частоты функционального узла устройства;
- расчет показателей технологичности;
- выбор способа охлаждения конструкции ЭС и оценка теплового режима полупроводниковых приборов, смонтированных на радиаторах типовых размеров (в случае наличия теплонагруженных элементов);
- расчет надёжности устройства;
- заключение;
- список используемой литературы.

**Рекомендуемая литература.** Руководитель проекта указывает студенту литературу, которую целесообразно использовать в проекте при разработке конструкции проектируемого устройства.

**Дополнительные указания к проекту.** Этот раздел используется руководителем проекта для включения дополнительных требований к проекту исследовательского характера. Очевидно, что первоначальный выбор большинства характеристик проектируемого устройства в процессе проектирования уточняется и изменяется. Дополнения, которые появляются у студента при работе над курсовым проектом, также включают в этот раздел.

Поскольку цикл разработки конструкции устройства включает в себя довольно много этапов и процедур и на каждом этапе нужно учитывать большое количество факторов, то разумно тщательно и внимательно применять существующие методы проектирования РЭС, исключая возможные появления ошибочных решений.

#### 4 УКАЗАНИЯ ПО СОСТАВЛЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена на персональном компьютере на стандартных листах бумаги формата А4 и подшита в обложку с титульным листом по типовой форме.

В расчетно-пояснительной записке даются подробные исходные данные к проекту и отражается выполнение всех пунктов задания на курсовое проектирование. При изложении и оформлении материала расчетно-пояснительной записки необходимо придерживаться основных требований и рекомендаций по выполнению курсовых и дипломных работ [14]. Обязательны ссылки на использованную литературу и нормативно – конструкторскую документацию.

Изложение расчетно-пояснительной записки должно быть выполнено грамотно, ясным техническим языком и кратко. Следует избегать сложных и длинных предложений.

В тексте записки не должно быть общих фраз, общих рекомендаций, распространяющихся на аппаратуру вообще. В записке следует строго придерживаться следующей схемы обоснования принимаемых в проекте решений:

**частная задача ⇒ варианты ее решения ⇒ их анализ ⇒ обоснование выбранного оптимального варианта.**

Содержание и объем расчетно - графического материала в каждом конкретном варианте задания на курсовое проектирование уточняется с руководителем.

Рекомендуется следующее содержание расчетно-пояснительной записки:

**Титульный лист.**

**Реферат.**

**Задание на курсовое проектирование.**

**Содержание.**

**Введение.**

**Расширенное техническое задание.**

**Анализ технического задания, электрической схемы и оценка элементной базы.**

**Разработка конструкции РЭС.**

**Расчетная часть курсового проекта.**

**Выводы и заключение.**

**Список использованной литературы.**

**Приложения.**

В текстовую часть «**Введение**» рекомендуется включить следующие вопросы:

- задача курсового проекта по дисциплине «Основы проектирования ЭС»;
- цель данной конструкторской разработки;
- обоснование важности и целесообразности разрабатываемого ЭС по различным критериям проектирования, изготовления и эксплуатации;
- предполагаемые параметры устройства, определяющие его приоритет или преимущество перед аналогами, в том числе и зарубежными;
- соответствие проектируемого устройства нормативно-техническим документам;
- оценивается возможный спрос на изделие, подлежащее разработке, его потребительские свойства, отмечают, какие конкретно показатели улучшаются по сравнению с существующими аналогами.

Указания по составлению разделов «**Расширенного технического задания**» представлены в приложении 2. При составлении ТЗ можно руководствоваться ГОСТ 15.001-38

В раздел «**Анализ технического задания, электрической схемы и оценка элементной базы**» включается:

- описание принципа работы схемы проектируемого устройства;
- анализ схемы с позиций разбиения ее на функциональные узлы и отдельные компоненты;
- проводится оценка возможности применения базы электрорадиоэлементов, указанных в электрической схеме, к условиям эксплуатации устройства, указанным в ТЗ.

В раздел «Разработка конструкции РЭС» рекомендуется включить следующие вопросы:

- выбор варианта компоновки устройства;
- анализ базовых и типовых несущих конструкций, выбор оптимального унифицированного варианта или аргументированное обоснование оригинального конструкторского решения;
- возможность размещения устройства в стандартной (по ГОСТ), либо унифицированной в отрасли или на предприятии базовой несущей конструкции, либо в типовых корпусах поставляемых в Россию иностранными фирмами;
- возможность применения унифицированных деталей в конструкции;
- условия для снижения номенклатуры применяемых комплектующих изделий, материалов, крепежных деталей и технологических процессов;
- выбор типа электрического монтажа (способы реализации внутриблочных и межблочных электрических соединений).

Для печатного монтажа обосновывают и определяют:

- размер печатной платы;
- способы закрепления печатной платы в конструкции.

Для навесного монтажа определяют:

- вид соединений, используемых в изделии;
  - марку, сечение жил и вид изоляции монтажных проводов;
  - способы соединения проводов между собой, проводов и выводов навесных элементов и т.п.;
  - способы крепления жгутов, кабелей и проводов в корпусе изделия.
- выбор способа охлаждения конструкции ЭС и оценка теплового режима полупроводниковых приборов, смонтированных на радиаторах типовых размеров (в случае наличия теплонагруженных элементов);
  - выбор способов защиты устройства от дестабилизирующих факторов (механических, климатических и различных помех);
  - выбор конструкторских решений, обеспечивающих удобство ремонта и эксплуатации устройства;
  - обеспечение требований стандартизации, унификации и технологичности конструкции устройства;
  - разработка элементов и узлов конструкции устройства (принятие основных технических решений):
    - выбор базовых несущих конструкций или типовых корпусов и их элементов;
    - выбор элементов крепления и фиксации (направляющих, штырей, ловителей, невыпадающих винтов и т.д.);
    - выбор конструктивных элементов электрического монтажа;
    - анализ типов электрических соединителей;
    - выбор материала припоя и флюса.
  - описание выбранного варианта компоновки устройства должно содержать:

- описание конструкции устройства с учетом принятых решений и дополнительных требований по защите РЭС от внешних воздействий, удобству ремонта и эксплуатации, доступности регулировочных элементов;
- выбор защитных и защитно-декоративных покрытий заключается в том, что для каждой детали и узла следует выбрать конкретный вид покрытия. Для каждого вида покрытия дать основные характеристики. Например, для металлических покрытий определить металл покрытия, способ нанесения, толщину покрытия, число слоев и т. д.
- выбор способов маркировки деталей и сборочных единиц включает определенные способы маркировки:
  - деталей и сборочных единиц;
  - нанесение надписей на лицевых панелях;
  - элементов электрической схемы (резисторов, транзисторов, ИС, микросборок и т. д.);
  - проводов, кабелей и других элементов;
  - ячеек, функциональных узлов, плат и т.д.

В разделе «**Выводы и заключение**» необходимо:

- подвести итог проделанной работы;
- провести оценку качества разработки;
- сделать заключение о полном (или частичном) выполнении пунктов технического задания;
- наметить основные пути дальнейшего совершенствования разработанной конструкции.

Оценка качества разработки позволит выявить неучтенные в процессе проектирования факторы и оценить приемлемость предложенного варианта с точки зрения технологичности. Комплексную оценку качества разработки целесообразно провести по следующим показателям [3]:

- показатели технологичности;
- топологические характеристики и контролепригодность;
- механические и тепловые характеристики;
- надёжность устройства;
- электрические и эксплуатационные характеристики.

Раздел «**Перечень используемой литературы**» должен содержать перечень книг, журнальных статей, нормативно-технических документов, которые были использованы при работе над курсовым проектом. На указанные в перечне работы должны быть сделаны ссылки по тексту пояснительной записки. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-84.

В раздел «**Приложения**» включаются графические документы курсового проекта.

## 5 АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Одна из основных особенностей современных методов проектирования ЭС, позволяющая избежать односторонних ошибочных представлений и решений, заключается в системном подходе, который является средством анализа и синтеза при одновременном использовании большого числа элементов и факторов, а также взаимосвязей, образующих данную систему. Системный подход позволяет рассматривать ЭС как единое целое при анализе и проектировании ее частей. При этом необходимо иметь способ объединения частей в единое целое.

Проектирование ЭС на основе системного подхода основывается на анализе схемы электрической принципиальной и технических требований, выданных по заданию на курсовой проект. Оно сопровождается оценкой элементной базы, компоновкой, разработкой сборочных и детальных чертежей, выбором электрических соединений, соединителей, материалов и покрытий в предлагаемой конструкции. При этом особое внимание обращается на обеспечение требований комплексной миниатюризации, надежности, стандартизации и технологичности.

Частное техническое задание (ЧТЗ) на проектируемое устройство формируется на основании технического задания (ТЗ) (индивидуального задания на курсовое проектирование). В ЧТЗ, как правило, оговаривают условия эксплуатации, серийность выпуска, требования к конструкции устройства и способы его крепления, габаритно-установочные размеры, вид электрической коммутации функциональных узлов между собой и с выносными ЭРЭ а также с другими устройствами и т.п. Совместно со схемой электрической принципиальной, перечнем элементов и картой электрических режимов ЧТЗ является основополагающим документом для разработки конструкции устройства.

Анализ ЧТЗ проводится в целях выявления схмотехнических, конструктивных, эксплуатационных и технологических требований и ограничений на проектируемое устройство. При отсутствии в ЧТЗ необходимых требований их необходимо непременно определить дополнительно, так как в противном случае качество конструкторской разработки изделия гарантировано быть не может.

### ***5.1 Схмотехнические требования и ограничения***

После изучения описания ЭС, приведенного в индивидуальном задании на курсовое проектирование, уяснения его принципа работы и назначения, следует приступить к анализу его электрической принципиальной схемы. Цель такого анализа - выделение на схеме функционально-законченных узлов, которые следует выполнить печатным монтажом, и определение схмотехнических требований и ограничений.

Схмотехнические требования обычно вырабатываются на основе анализа электрических схем и электрических режимов работы ЭРЭ, выполненных с помощью схмотехнических САПР [15, 16]. Такой анализ позволяет обнаружить

компоненты, функциональные узлы (ФУ) и электрические цепи, определяющие особенности компоновки конструкции изделия в целом.

Необходимо установить:

- на каких элементах схемы выделяется значительная мощность. Обычно такие элементы требуют дополнительного теплоотвода с помощью радиаторов и конструктивно выполняются вне печатных узлов [12, 13];

- теплочувствительные ЭРЭ, для того чтобы разместить их подальше от ЭРЭ, являющихся источниками значительного тепловыделения;

- массивные и крупногабаритные ЭРЭ (силовые трансформаторы, дроссели, предохранители, транзисторы, лампы большой мощности и т.п.). Для таких ЭРЭ, в зависимости от условий эксплуатации, могут потребоваться дополнительные крепления или фиксация, чтобы существенно не снизить надежность проектируемого устройства. Если масса ЭРЭ более 70 г или габариты такого элемента слишком велики, размещать его на печатной плате ФУ нецелесообразно (во всяком случае, без специального обоснования и учета последствий);

- какие электрорадиоэлементы относятся к органам управления ЭС и органам контроля над его работой. Как правило, подобные элементы также не размещают на печатной плате устройства, а выносят на лицевую или заднюю панель корпуса ЭС. Туда же обычно выносят элементы включения (выключения) питания, входные и выходные гнезда, элементы индикации, регистрирующие приборы и другие элементы, которые нецелесообразно размещать на печатной плате;

- подгоняемые ЭРЭ и ЭРЭ с небольшой надежностью (для принятия необходимых мер по многократной перепайке при настройке, регулировке и эксплуатации или быстрой замены их с помощью разъёмов, колодок, зажимов и т.п.);

- способ соединения ФУ с оставшейся частью схемы РЭС. Будет ли это соединение выполняться с помощью разъёмов или без них, например, с помощью жгута, припаиваемого к монтажным стойкам или клеммам печатной платы;

- функциональное назначение различных электрических цепей схемы. В частности, следует выделить потенциальные (питания и земли), сигнальные (маломощные) и управляющие цепи, а также цепи с большой величиной сигнала, которые необходимо экранировать.

Разделение электрических цепей на группы в особенности важно для обеспечения электромагнитной совместимости высокочастотных РЭС, при проектировании многослойных ПП, а также аппаратуры с малым уровнем входных токов. Вместе с тем силовые цепи должны обеспечивать прохождение значительных токов, для чего потребуются проводники с большим поперечным сечением. При наличии высокого напряжения в схеме устройства возникает вероятность возможного пробоя в конструкции, что вынуждает учитывать этот фактор при проектировании.

Кроме того, для правильного выбора ЭРЭ следует знать значения и вид (постоянный, переменный, пульсирующий или импульсный) токов в цепях и напряжений на ЭРЭ (это особенно важно для цепей с электролитическими конденсаторами). При необходимости могут быть указаны требования по располо-



жению цепей и компонентов с точки зрения электромагнитной совместимости и введению в конструкцию контрольных гнезд.

В результате выполненного системного анализа ЧТЗ должны быть найдены основополагающие конструктивно-технологические решения и сформирована электрическая принципиальная схема устройства, позволяющая целенаправленно приступить к его проектированию. Окончательно выбранная и обоснованная схема изделия согласовывается с преподавателем.

## ***5.2 Конструктивные требования и ограничения***

В ЧТЗ должно быть указано назначение проектируемого изделия РЭС (профессиональная, бытовая, стационарная, переносная и т.д.), так как область применения изделия в большинстве случаев обуславливает принятие того или иного конструктивно - технологического решения.

Конструктивные требования включают в себя:

- выбор количества и габаритных размеров ФУ обеспечивающих функционирование устройства и требования к их размещению в корпусе РЭС;
- варианты крепления ФУ в устройстве. Для крепления ФУ можно использовать:
  - разъемы (те же, что используется для электрического соединения);
  - зажимы;
  - направляющие;
  - крепежные винты и т.п. детали;
- способы соединения ФУ с другими частями РЭС (сварка, пайка, разъемное соединение, жгут и т.д.);
- выбор конструкции и места расположения входных и выходных цепей изделия;
- проверку правильности выбора ЭРЭ, указанных в перечне к схеме и определение вариантов замен ЭРЭ при необходимости.

## ***5.3 Анализ элементной базы электрической схемы***

Проверку правильности выбора ЭРЭ следует производить сравнением данных, помещенных в справочниках и каталогах по эксплуатационным характеристикам [13,16, 35, 37] с соответствующими значениями, указанными в ЧТЗ на разработку устройства или полученных расчетным путем с помощью соответствующих схемотехнических САПР (PSpice, MicroCAP, OrCAD и т.п.). Конструктивные характеристики, параметры и стоимость современных отечественных и зарубежных электрорадиоэлементов можно также получить через Internet из каталогов предприятий и электронных магазинов, осуществляющих их поставку. Например, по адресам <http://www.platan.ru>, <http://www.promelec.ru>, <http://www.chipinfo.ru> и др. [13, 37].

Надежность электрорадиоэлементов РЭС, как известно, зависит от температуры окружающей среды. Для каждого типа элемента в технических условиях указывается предельная температура, при превышении которой элемент нельзя эксплуатировать. Поэтому одна из важнейших задач конструктора РЭС состоит в

том, чтобы обеспечить правильные тепловые режимы для каждого элемента. Для повышения надежности РЭС рекомендуется рабочий режим электрорадиоэлементов по току, напряжению и мощности выбирать с коэффициентом нагрузки не менее  $K_n = 0,7$  от паспортного.

Возможен случай в процессе проектирования, когда основная часть элементов схемы удовлетворяет требованиям ЧТЗ, а некоторая часть не может нормально работать при заданных внешних воздействиях. В этом случае необходимо предусмотреть специальные меры, ограничивающие диапазон эксплуатационных воздействий на эти элементы. К таким мерам, в частности, относятся: локальная герметизация, термостатирование, амортизация и др.

При анализе элементной базы электрической принципиальной схемы проектируемого устройства самостоятельно следует сделать выбор типа равноценного заменяющего элемента, если:

- указанный в электрической принципиальной схеме тип радиоэлемента не подходит для условий эксплуатации проектируемого устройства;
- на схеме РЭС и в его описании не указан тип радиоэлемента;
- радиоэлемент является устаревшим, снят с производства и не выпускается промышленностью;
- радиоэлемент не входит в перечень допустимых к применению на данном предприятии.

При выборе типа заменяющего ЭРЭ следует учитывать:

- идентичность его по функциональному назначению, электрическим и частотным параметрам;
- возможность его установки (крепления) на печатную плату;
- условия эксплуатации;
- класс точности изготовления элемента;
- стоимость;
- допустимую мощность рассеивания;
- допустимое рабочее напряжение;
- допустимый рабочий ток.

При избрании класса точности выбираемого элемента нельзя забывать, что чем больше технологический разброс параметров у выбранного элемента, тем меньше его стоимость. С другой стороны класс точности электрорадиоэлементов (допуски на комплектующие элементы) оказывает огромное воздействие на разброс значений выходных параметров ЭС. Если выбран элемент с большим разбросом, то, вероятно, потребуется его подборка при наладке, что может увеличить стоимость ЭС и ухудшить технологичность изготовления устройства.

#### **5.4 Эксплуатационные требования**

Создаваемая конструкция должна обеспечивать защиту проектируемого устройства при его эксплуатации от климатических воздействий внешней среды, механических воздействий и помехонесущих полей.

Параметры климатических воздействий (температура и влажность окружающей среды, атмосферное давление, осадки, ветер, пыль, солнечная радиация,

содержание в воздухе коррозионно-активных агентов) позволяют выбрать группу жесткости РЭС и избрать способ дополнительной защиты от их влияния.

В соответствии с принятой классификацией (ГОСТ 15150-69) различают шесть типов **климатических районов**:

- на суше - с умеренным климатом (У), с холодным климатом (ХЛ), с влажным тропическим климатом (ТВ), с сухим тропическим климатом (ТС);
- на морях и океанах - с умеренно холодным морским климатом (М), с тропическим морским климатом (ТМ).

Любое изделие может иметь климатическое исполнение, соответствующее указанным районам и обозначаемое сокращенно теми же буквами, какими обозначен район:

- исполнение изделия, предназначенного для работы, как при влажном, так и при сухом тропическом климате обозначают буквой Т;
- исполнение, допускающее работу во всех климатических районах на суше, обозначают буквой О;
- исполнение для всех морских районов - буквой М;
- исполнение для всех районов на суше и на море - буквой В.

Разделение поверхности земного шара на климатические районы производят по следующим признакам:

- к районам с умеренным климатом относят районы, в которых температура воздуха лежит в пределах от + 40 до - 45 °С;
- к районам с холодным климатом относят районы, в которых минимальная температура ниже - 45 °С;
- районы, где температура больше +20°С в сочетании с высокой относительной влажностью (более 80%) наблюдается не менее 12 ч в сутки непрерывно не менее двух месяцев подряд, относят к районам с влажным тропическим климатом;
- если температура воздуха превышает + 40°С, а влажность ниже норм, указанных в предыдущем пункте, то такой климат называют тропическим сухим;
- к районам с умеренно холодным морским климатом относят моря и океаны, расположенные севернее 30° северной широты и южнее 30° южной широты, при условии, что температура в них не опускается ниже - 45 °С;
- в морских районах, расположенных между 30° северной широты и 30° южной широты, климат тропический морской.

**Условия эксплуатации ЭС**, указанные в ТЗ на проектирование, а значит и его конструкция, в сильной мере зависит от вида помещения или укрытия, в котором она расположена. В соответствии с этим ЭС подразделяют на пять категорий.

1. ЭС, предназначенное для эксплуатации непосредственно на открытом воздухе.
2. ЭС, предназначенное для эксплуатации в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, и имеется сравнительно свободный доступ наружного возду-

ха, например в палатках, в кузовах, прицепах, под навесами при отсутствии прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков.

3. ЭС, предназначенное для работы в неотапливаемых закрытых помещениях с естественной вентиляцией.

4. ЭС, предназначенное для работы в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях.

5. ЭС, предназначенное для работы в помещениях с повышенной влажностью, например в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в трюмах кораблей, где возможно длительное наличие воды, и т.п.

Конкретные значения **температуры и влажности** воздуха для различных климатических исполнений и категорий аппаратуры указаны в соответствующих стандартах.

**Холодоустойчивое** изделие ЭС должно быть сконструировано так, чтобы при заданной отрицательной температуре его параметры сохранялись в заранее установленных пределах. При эксплуатации ЭС в арктических и антарктических условиях температура воздуха может понижаться до  $- (70 \div 80)^\circ\text{C}$ . То же самое происходит и при подъеме на высоту более 10 км.

Понижение температуры оказывает серьезное влияние на работу электро-механических устройств, так как значительные перепады ее (например, при подъеме самолета от  $+ 20$  до  $- 60^\circ\text{C}$ ) приводят к изменениям зазоров и натягов, поскольку материалы конструкций ЭС имеют разные коэффициенты линейного расширения. Одновременно происходит сгущение смазочных веществ, что вызывает увеличение моментов и сил трения в подвижных устройствах и может привести к заклиниванию механизмов. При понижении температуры окружающего воздуха резко снижается прочность материалов (особенно при ударных нагрузках), существенно меняются и многие параметры ЭРЭ. При низких температурах в приполюсе возникают внутренние напряжения, и так как приполюс плохо работает на растяжение, то возможно разрушение паяных кожухов ЭС, мест пайки и т.д.

Свойство ЭС сохранять стабильность параметров в определенных пределах при повышении температуры называют **теплоустойчивостью**.

При работе ЭС в районах с тропическим климатом температура воздуха может повышаться до  $+45^\circ\text{C}$ , а в отдельных случаях и более. В закрытых помещениях, находящихся под непосредственным воздействием солнца (в самолете, который стоит на земле), температура воздуха может достигать  $+70^\circ\text{C}$ .

Обшивка сверхзвукового самолета, обтекателя ракеты могут нагреваться в результате трения о встречный газовый поток до  $+150 \div 200^\circ\text{C}$ , а расположенные в них РЭС будут работать при температуре порядка  $+100^\circ\text{C}$  и выше.

Повышение температуры окружающего воздуха вызывает увеличение сопротивления проводниковых материалов (например, перегрев технической меди на  $100^\circ\text{C}$  приводит к увеличению сопротивления на 40 %) и ухудшение параметров изоляционных материалов (особенно органических). Происходящее при этом уменьшение сопротивления изоляции приводит к увеличению потерь, к появле-

нию утечек в схемах, к уменьшению добротности контуров и к другим нежелательным явлениям. Одновременно происходит уменьшение электрической прочности диэлектриков, что может приводить к электрическим пробоям в конструкции и полному отказу ЭС. При изменении температуры окружающей среды меняется диэлектрическая проницаемость диэлектриков. Если диэлектрик, у которого это изменение велико, применить в конденсаторе, образующем вместе с катушкой резонансный контур, то при изменении температуры будет меняться и частота настройки контура. При этом изменится выходной уровень сигнала передатчика, где этот контур используется, что может привести к потере связи.

При длительной работе ЭС в условиях повышенной температуры могут появиться необратимые изменения параметров изоляционных материалов.

Значительно увеличивают свою проводимость с повышением температуры полупроводниковые материалы, что может привести к существенному изменению электрических режимов в схеме. При температуре свыше  $+85..100^{\circ}\text{C}$  в германиевых ( $+120..150^{\circ}\text{C}$  в кремниевых) полупроводниковых приборах наступают необратимые изменения, приводящие к выходу их из строя.

Повышение температуры приводит к резкому снижению надёжности работы большинства ЭРЭ. Так при повышении температуры с  $20$  до  $60^{\circ}\text{C}$  интенсивность отказов возрастает: у электронно-вакуумных приборов в  $1.5\div 2$  раза, у резисторов в  $2\div 3$  раза, у полупроводников приборов в  $3\div 4$  раза, у конденсаторов в  $6\div 8$  раз, у микросхем в  $6\div 10$  раз.

Очевидно, тепловой режим является важнейшим фактором, определяющим эксплуатационную надёжность ЭС, и задача проектировщика обеспечить нормальный тепловой режим в конструкции изделия [5 - 13].

**Влагоустойчивое** ЭС должно сохранять параметры в заранее установленных пределах при работе в среде с повышенной относительной влажностью.

Количество влаги, содержащейся в воздухе при различных климатических условиях, различно. В областях умеренного климата относительная влажность воздуха составляет  $65\div 80\%$ ; в пустынях она может уменьшаться до  $5\div 10\%$ , а в тропиках - достигать  $100\%$  при температуре воздуха до  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Понижение температуры сопровождается уменьшением количества паров воды в воздухе, поэтому суточные колебания температуры могут сопровождаться выпадением влаги на поверхности и внутри ЭС. Подобные явления могут произойти при попадании самолета в насыщенный влагой воздух (туман), если температура РЭС ниже температуры воздуха.

При воздействии воздуха с высоким содержанием водяных паров, особенно при повышенной температуре, влага проникает внутрь изоляционных материалов через микротрещины, а также благодаря явлению диффузии. Так как проводимость воды значительно выше проводимости диэлектриков, то воздействие влаги приводит к резкому уменьшению сопротивления изоляции, росту потерь в диэлектрике и изменению относительной диэлектрической проницаемости. Влажность меняет многие свойства поверхности металлов: прочность, электропроводность, теплопроводность, степень черноты, степень шероховатости и т.п.

Воздействуя на металлы, влага вызывает появление коррозии металлов. В результате коррозии ухудшается декоративный вид поверхностей, зеркальные поверхности теряют отражательную способность, разъемные соединения труднее разъединяются. При коррозии может происходить разгерметизация герметичных металлических корпусов. Из-за уменьшения поверхностной электрической проводимости при коррозии увеличивается переходное сопротивление контактов реле, переключателей и других коммутирующих элементов, снижается добротность катушек индуктивности. Повышенная влажность снижает сопротивление изоляции у коммутирующих устройств, а также между проводниками печатных плат функциональных узлов.

В трансформаторах влага, проникая через трещины в заливке, уменьшает сопротивление изоляции и способствует развитию электрохимических процессов между витками, находящимися под разными потенциалами, что способствует возникновению пробоя.

Отметим, что некоторые категории ЭС, эксплуатируемые в полевых условиях (наземные транспортируемые и переносные, морские) нередко работают при непосредственном воздействии атмосферных осадков (дождь или брызги). Кроме того, в отдельных случаях возможна работа РЭС в воде.

Негативное влияние на РЭС оказывают **биологические** воздействия. Высокая влажность воздуха способствует образованию на органических изоляционных материалах плесневых грибов. Они развиваются на пластмассах, красках, лаках, коже, резине, текстиле. Хорошей питательной средой для плесени является канифоль, которая может оставаться на местах пайки. При появлении плесени снижается сопротивление изоляции, ускоряется процесс коррозии металлов, разрушаются защитные покрытия, нарушаются контакты, возможны замыкания, пробой и т.п.

В некоторых тропических районах водятся термиты, которые, попадая в РЭС, поедают древесину, пластмассы с древесным наполнителем и некоторые другие органические материалы. Тараканы, забираясь внутрь ЭС, повреждают изоляцию и нарушают контакты коммутирующих устройств. Выделения термитов, тараканов, красных муравьев и других насекомых увеличивают проводимость между проводниками, что может привести к нарушению работы РЭС и к коротким замыканиям.

На промышленных предприятиях и в промышленно развитых городах с тяжелой индустрией РЭС могут эксплуатироваться в воздухе, загрязненном различными **коррозионно-активными** агентами (озоном, хлором, аммиаком, сернистым газом и пр.). Коррозионно-активные агенты активизируют в конструкциях РЭС химические реакции, такие как физико-химическая коррозия металлов, разрушение покрытий и снижение сопротивления изоляции.

Все категории ЭС, особенно устанавливаемой на подвижных объектах, работают при интенсивном **воздействии** пыли. Попадая в смазочные материалы движущихся механических устройств, пыль вызывает окисление смазочных материалов, повышает у них трение и износ. Оседая на поверхности различных де-

талей и ЭРЭ, пыль создает хорошие условия для их увлажнения. Содержащиеся в пыли растворимые соли также хорошо поглощают влагу. При этом на поверхности металлов может происходить коррозия, а на поверхности изоляционных материалов адсорбция влаги. В печатных платах снижается сопротивление изоляции, что приводит к трудно обнаруживаемым отказам. Увлажненная пыль способствует разрушению лакокрасочных покрытий. Пыль плохо проводит тепло, и оседание её на поверхностях тепловыделяющих элементов приводит к увеличению нагрева и отказу этих элементов.

При подъеме на значительную высоту происходит уменьшение **атмосферного давления**. Понижение давления воздуха сопровождается уменьшением его электрической прочности, что в ряде случаев может привести к пробое воздушных промежутков. С понижением атмосферного давления увеличивается температура тепловыделяющих элементов, так как ухудшается теплоотдача от нагретых частей ЭС за счёт конвекции (перенос тепла движущимися воздушными потоками), в результате чего их температура повышается.

При проектировании ЭС для космических аппаратов следует учитывать тепловое воздействие в условиях **невесомости**, которое характеризуется отсутствием конвективной составляющей теплоотдачи от тепловыделяющих элементов.

**Солнечная радиация** (ультрафиолетовое и инфракрасное излучения, а также излучение в видимой части спектра):

- изменяет цвет и структуру поверхностного слоя материалов (каучука, пластмасс, тканей и др.);
- разлагает полимеры, содержащие хлор, например полихлорвинил;
- разрушает лакокрасочные покрытия;
- способствует старению ряда материалов, например пластмасс;
- ускоряет процесс атмосферной коррозии.

Большое влияние на конструкцию РЭС, размещенных на подвижных объектах, оказывают параметры **механических воздействий** (удары, вибрации, линейные ускорения), которые возникают из-за наличия неуравновешенных подвижных масс при передвижении по дорогам, при посадках самолетов, стрельбе из орудий, при изменении скорости движения и т.д. При этом на каждый элемент конструкции РЭС действует сила

$$F = m \cdot a, \quad (5.1)$$

где  $m$  - масса элемента конструкции;  $a$  - ускорение.

Воздействие этой силы вызывает деформацию отдельных частей конструкции, из-за чего возможно изменение параметров ЭС и даже ее полное разрушение.

Удары возникают при резком изменении ускорения и количественно характеризуются ускорением (от десятков до тысяч  $g$ ) и длительностью (от долей до десятков миллисекунд). Линейные ускорения действуют на ЭС, размещённых на автономных подвижных объектах (самолетах, ракетах и т.п.).

Отношение силы  $F$ , появляющееся в результате воздействия ускорения, к силе тяжести  $P$  называют перегрузкой:

$$G = F/P. \quad (5.2)$$

Значение перегрузки  $G$  показывает, во сколько раз дополнительная сила  $F$  больше силы тяжести  $P$ , действующей на ЭС. Если известна перегрузка, то появляющаяся при этом сила может быть вычислена по формуле:

$$F = P \cdot G. \quad (5.3)$$

Вибрации представляют собой механические колебания, характеризующиеся диапазоном частот и ускорением. Особенно опасен механический резонанс, когда частота вынуждающего колебания совпадает с частотой собственных механических колебаний конструкции РЭС или отдельных её элементов. Под воздействием вибрации могут происходить нарушения в работе, и даже разрушение ЭС из-за взаимного перемещения отдельных элементов конструкции. Если на аппарат воздействует синусоидальная вибрация, то перегрузка

$$G \approx 0.004 \cdot A \cdot f^2, \quad (5.4)$$

где  $A$  - амплитуда вибрации, мм;  $f$  - частота вибрации, Гц.

Проектируя вибропрочное и ударопрочное изделие ЭС, можно успешно противостоять разрушающему действию длительной вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений, а также действию ударов заданной силы и длительности и обеспечить после этого нормальное выполнение изделием своих функций.

Ориентировочные значения перегрузки  $G$  для ЭС, которые эксплуатируются в различных условиях, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Перегрузки  $G$  для различных категорий ЭС

		Максимальная (g)	Максимальная (g)
Категория аппаратуры	$f_{\max}, \text{Гц}$	перегрузка при вибрации	ударная перегрузка
Автомобильная	8 0	4	10
Самолетная	4 00	10	10
Корабельная	1 00	2,5	12

Следует учесть, что условия, в которых находятся ЭРЭ, могут отличаться от условий, в которых работает вся ЭС. Так, из-за выделяемой в РЭС теплоты температура внутри корпуса может значительно превышать температуру окружающей среды. При хорошей герметизации корпуса влажность воздуха вблизи ЭРЭ может быть существенно ниже влажности окружающего воздуха и т.д.



Чтобы обеспечить надежную работу ЭС в условиях механических воздействий, при проектировании необходимо предусмотреть специальные меры защиты. Это, например, выбор правильной ориентации элементов на плате (с учетом ориентации платы в блоке), способов дополнительного крепления ЭРЭ, выбор материала конструктивных элементов, габаритов ФУ и печатных плат.

Параметры внешних воздействий регламентированы стандартами в форме степеней жёсткости, зависящих от категории (группы) ЭС. Одним из таких стандартов является ГОСТ 16962-71\*, часть требований которого приведено в таблице 5.2. Численные значения параметров внешней среды, соответствующие различным степеням жёсткости, расшифровываются этими стандартами; в качестве примера приведём расшифровку степеней жёсткости по воздействию повышенной температуры окружающей среды (таблица 5.3).

Отметим, что комплекс воздействий и значения воздействующих факторов, кроме климатических условий, сильно зависят от характеристик объекта, на котором установлено ЭС, и даже от конкретного места установки. Например, факторы, действующие на устройство, установленное на мачте корабля, отличаются от тех, которые действуют на такое же устройство, установленное в радиорубке.

Таблица 5.2-Условия эксплуатации по ГОСТ 16962-71\*

Степени жёсткости условий эксплуатации (их расшифровка дана в ГОСТ 16962-71*)	Категория (группы) ЭС				
	Стационарная	Возимая	Морская	Самолётная	Космическая
1 По вибрационным нагрузкам	I	IV	IV	X	XV
2 По ударным нагрузкам					
- одиночным	I	I	I	II	III
- многократным	I	I	I	II	II
3 По линейным (центробежным) нагрузкам	I	I	I	II	III
4 По температуре воздуха при эксплуатации:					
- верхнее значение	I	V	VI	VII	VII
- нижнее значение	I	VII	VII	VIII	VIII
5 По температуре воздуха при транспортировании и хранении:					
- верхнее значение	I	I	II	II	II
- нижнее значение	I	I	II	II	II

6 По воздействию пониженного атмосферного давления	I	I	II	VI	VI
7 По воздействию повышенного атмосферного давления	I	I	II	I	I
8 По воздействию влаги	I	III	V	III	III

Таблица 5.3- Расшифровка степеней жёсткости по воздействию повышенной температуры окружающей среды [19]

Степени жёсткости	I	IV	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Температура окружающей среды в °С	40	50	70	85	100	125	155	200	250	315

ЭС должно быть спроектировано так, чтобы для его управления не требовался исключительно высококвалифицированный **персонал**. Случайное неправильное обращение с органами управления не должно выводить ЭС из строя. Субъективные особенности обслуживающего персонала не должны сказываться на результатах операций, которые выполняет ЭС.

Обслуживание ЭС (периодические профилактические и ремонтные работы) должно быть простым. Для этого в процессе проектирования устройств должны быть обеспечены:

- удобный монтаж и демонтаж ЭС и ее составных частей;
- легкий доступ к узлам и блокам, требующим периодического осмотра, подстройки, очистки и смазки;
- возможность быстрой смены узлов и блоков, обладающих малым сроком службы;
- взаимозаменяемость (унификация) блоков и узлов по электрическим и механическим параметрам.

Каждое ЭС должно иметь комплект запасных частей для быстрого восстановления работоспособности после выхода его из строя.

В конструкции ЭС должны быть предусмотрены специальные меры по технике безопасности, исключая возможность несчастных случаев. Так, в ЭС с высоким напряжением делают блокировку. В необходимых случаях ЭС снабжают предупредительными надписями.

Каждое ЭС должен быть сконструировано так, чтобы затраты на его **эксплуатацию** (стоимость электроэнергии, заработной платы обслуживающего персонала, стоимость запасных деталей, узлов и приборов, необходимых для проведения ремонтных работ) были минимальными.

В настоящее время особую роль приобретает экономичное электропитание ЭС. Действительно, бурный количественный рост электронной бытовой техники у населения требует для своего питания энергетической мощности, значительно превышающей рост энергетических ресурсов. Заметим, что уменьшение потребления электроэнергии в ЭС с батарейным питанием позволяет снизить его массу за счет уменьшения габаритов источников питания или при той же массе батарей продлить срок службы ЭС. Таким образом, задача энергосбережения приобретает для проектировщика ЭС первостепенное значение.

Таблица 5.4 - Характеристика элементной базы проектируемого изделия

о ре- зуль- та- там ана-	П						
	Наименование, тип и обозначение ЭРЭ	Параметры внешних воздействий					
		Диапазон температур, °С	Влаж- ность, %	Вибрации		Ударные перегруз- ки, м/с <sup>2</sup> (g)	Линейные ускорения, м/с <sup>2</sup> (g)
Частота, Гц	Перегрузка, м/с <sup>2</sup> (g)						

лиза принципиальной электрической схемы и всесторонней оценки применяемых ЭРЭ по условиям эксплуатации в курсовом проекте составляется таблица сравнительных характеристик всей элементной базы ЭС (таблица 5.4).

### 5.5 Технологические требования и ограничения

Попытки спроектировать и изготовить ЭС с учетом только эксплуатационных требований приводит, как правило, к ее усложнению и созданию конструкции, которую невозможно осуществить без больших материальных затрат. Конструкция ЭС должна быть максимально **технологичной** [9], что обеспечивается путем:

- сборки изделия без подгонок и доделок;
- взаимозаменяемости узлов и деталей по электрическим параметрам (особенно важно обеспечить взаимозаменяемость деталей и узлов в изделиях массового и серийного производства, так как без этого невозможны механизация и автоматизация производства.);
- независимой регулировки отдельных узлов и приборов, что способствует сокращению производственного цикла изготовления изделия.

В своей практической деятельности разработчик ЭС должен руководствоваться следующими **производственно-технологическими** требованиями:

- максимально использовать более дешевые и надежные стандартизованные и нормализованные изделия, выпускаемые на специализированных заводах, на которых применяют высокопроизводительное специальное оборудование, позволяющее механизировать и автоматизировать процесс производства. Это позволяет исключить затраты на разработку схожих изделий, технологических процессов, специального инструмента, оборудования и значительно сокращает сроки подготовки производства ЭС;

- максимально использовать опыт предыдущих аналогичных разработок. Приступая к разработке какого-либо узла или ЭС, разработчик обязан тщательно проанализировать требования, предъявляемые к схемам, конструкциям и характеристикам уже выпускаемых изделий-прототипов, и сравнить их с требованиями к изделию, подлежащему разработке. Такой анализ позволяет проектировщику установить – пригодно ли уже освоенное изделие для нового ЭС, и если нет, то какие минимальные переделки понадобятся;

- пытаться сократить номенклатуру деталей в каждом изделии;

- стремиться к максимальной простоте изделия, что будет способствовать минимизации трудовых затрат, количества материалов (особенно дефицитных), рабочих площадей, снижению требований к квалификации рабочих.

Технология изготовления изделий зависит от его **объема выпуска**. В соответствии с ГОСТ 14.004-83 в зависимости от объема выпуска изделий современное производство подразделяется на единичное, серийное и массовое.

На предприятиях единичного производства используется точное универсальное оборудование, а специальные дорогостоящие инструменты и приспособления, как правило, не применяют. Взаимозаменяемость деталей и узлов во многих случаях отсутствует, широко распространена пригонка по месту. Уровень механизации достаточно низкий и стоимость аппаратуры относительно высокая.

При массовом и крупносерийном производстве широко применяются высокопроизводительные автоматические линии и автоматизированные производственные системы, специальная оснастка. Средняя квалификация рабочих в современном массовом производстве ниже, чем в единичном, так как на настроенных станках и автоматическом оборудовании могут работать рабочие-операторы сравнительно низкой квалификации.

## 6 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Схемы электрические принципиальные определяют полный состав элементов устройства и связи между ними и дают детальное представление о принципах работы изделия. Эти схемы также используются для изучения принципов работы ЭС при его наладке и контроле. Принципиальные схемы являются часто единственными документами, по которым при эксплуатации можно найти и устранить возникшую в ЭС неисправность [11].

На принципиальных электрических схемах изображают:

- все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления заданных электрических процессов в изделии;
- все электрические связи между ними;
- элементы (соединители, зажимы, разъемы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Так как принципиальные схемы служат для рассмотрения электрических процессов, происходящих в ЭС, то, чтобы не отвлекать внимание проектиров-

щика на ненужные подробности, сведения о конструкции проектируемого изделия на них не приводятся.

Принципиальная схема служит исходным документом для разработки конструкторских документов, в том числе чертежей.

Принципиальные схемы дают полное представление о типах примененных деталей, сопротивлении резисторов, емкости конденсаторов (указаны рядом с позиционными обозначениями), мощности рассеяния резистора и т. п. Схемы всегда вычерчивают в виде, соответствующем отключенному состоянию приборов.

Схемы выполняются с соблюдением масштаба на форматах, установленных ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.004-79. Правила выполнения электрических схем изделий всех отраслей промышленности и энергетических сооружений содержатся в ГОСТ 2.702-75.

При выполнении схем применяют условные графические обозначения (УГО), установленные стандартами ЕСКД на соответствующие схемы.

Стандарты на условные графические обозначения некоторых элементов содержат обязательные размеры обозначений. Остальные обозначения следует изображать в размерах, в которых они выполнены графически в стандартах.

При выполнении чертежей схем толщина линий связи и графических обозначений должна быть одинакова (рекомендуется 0,3...0,4 мм).

Утолщенными линиями изображают линии групповой связи (линии, условно изображающие группу линий электрической связи проводов, кабелей, шин, следующих на схеме в одном направлении). Утолщенные линии связи и графических обозначений выполняют вдвое толще принятой толщины линий.

Линии связи должны состоять, как правило, из горизонтальных и вертикальных отрезков с расстоянием между ними не менее 3 мм. Следует стремиться, чтобы количество изломов и взаимных пересечений было наименьшим. Если линии связи затрудняют чтение схемы, их можно оборвать, закончив стрелкой, и указать обозначение или наименование, присвоенное этой линии. Например, можно указать номер провода, наименование сигнала, условное обозначение буквой, цифрой.

Если схема устройства, содержит самостоятельную принципиальную схему, то ее выполняют в виде прямоугольника сплошной линией, равной по толщине линии связи.

Функциональные группы, не имеющие самостоятельных схем, на схеме устройства выделяют штрихпунктирными линиями, равными по толщине линиям связи.

Изучая правила выполнения электрических схем и рассматривая примеры их выполнения, следует обратить внимание на следующие моменты.

1) При построении принципиальной электрической схемы графические обозначения элементов и соединяющие их линии электрической связи следует располагать так, чтобы не нарушалась удобочитаемость схемы, и обеспечивалось

наилучшее представление о структуре схемы и взаимодействиях её составных частей (функциональных групп, функциональных узлов и элементов).

В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линий связи, длину которых следует по возможности ограничивать.

На одной схеме рекомендуется применять не более трех размеров линий связи по толщине.

Линии связи на схеме должны быть показаны, как правило, полностью.

Для упрощения схемы допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в общую (групповую) линию, но при подходе к контактам (элементам) каждую линию связи изображают отдельной линией.

При слиянии линий связи в линию групповой связи каждую линию помечают цифрами или обозначениями по ГОСТ 2.709-72. При необходимости обозначения проставляют на обоих концах линии групповой связи.

2) На принципиальной электрической схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей ФУ (частоту, напряжение, силу тока, сопротивление, индуктивность, полярность, потенциал и т.п.). Также рекомендуется указывать на схеме электрические параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах, разъемах.

Если невозможно указать характеристики и параметры входных и выходных цепей, то на схеме указывают наименование цепей, например: Вход, Выход, База и т.п.

3) Если в разрабатываемой схеме функциональные узлы (ФУ) имеют разъемы для подключения, к примеру, к основному блоку, то взамен условного графического обозначения разъемов рекомендуется помещать на поле схемы таблицы.

В таблицы записывают обычно номера контактов, характеристики входных и выходных цепей ФУ, а при необходимости указывают адреса внешних соединений входных и выходных цепей данного ФУ. Адрес указывают только в том случае, если ФУ заведомо предназначен для работы в определенном блоке (приборе).

Адрес должен обеспечивать однозначность присоединения, например, если выходной контакт ФУ должен быть соединен с пятым контактом третьего разъема блока А, то адрес должен быть записан следующим образом: = А-ХЗ:5. Каждой таблице присваивается позиционное обозначение элемента (разъема), взамен условного графического обозначения которого она помещена. Аналогичные таблицы рекомендуется помещать и на линиях электрической связи, изображающих входные и выходные цепи ФУ и которые не заканчиваются на схеме разъемами.

Допустим, разрабатываемый ФУ с печатным монтажом имеет только контактные площадки (штыри, пистоны, клеммы) для внешних подключений. В этом случае таблицы заполняются аналогично, как и для ФУ с разъемами, но позиционные обозначения таблицам не присваиваются.

Таблицу допускается выполнять разнесенным способом. Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы. До-

пускается проставлять в графе "Конт." таблицы несколько последовательных номеров контактов в случае, если они соединены между собой. Номера контактов в этом случае отделяют друг от друга запятой.

При отсутствии характеристик входных и выходных цепей ФУ или адресов их внешних присоединений в таблице не приводят графу с этими данными.

4) Перечень элементов к принципиальной схеме может быть выполнен или в виде самостоятельного документа на формате А4, или помещен на свободном поле схемы над основной надписью.

5) Форматы листов для принципиальных электрических схем выбирают в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ 2.301-68. При этом основные форматы являются предпочтительными.

При выборе форматов следует учитывать сложность разрабатываемой схемы и то, как выполняется перечень элементов, или в виде самостоятельного документа или помещается он на поле схемы. Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, не нарушая ее наглядности и удобства пользования ею.

Приведенные в данном разделе рекомендации выполнения схем и комментарии к ним ни в коей мере не отражают всех способов и правил выполнения электрических принципиальных схем. В полном объеме эти правила и способы изложена в ГОСТ 2.702-75 раздел 3, а общие требования к выполнению схем приведены в разделе 2 ГОСТ 2.701-76 [11].

### 6.1 Оформление электрических схем

Форматы листов схем выбирают в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ 2.301-68 и ГОСТ 2.004-79. Предпочтение отдают основным форматам. При выборе форматов следует учитывать:

- объем и сложность схемы проектируемого ЭС;
- необходимую степень детализации данных;
- условия хранения и обращения документации;
- возможность внесения в схему изменений;
- особенности и возможности техники выполнения, репродуцирования и микрофильмирования схем;
- особенности периферийного оборудования компьютера, на котором выполняется печать документов.

Таблица 6.1 - ГОСТы, определяющие правила выполнения схем [11]

ГОСТ	<i>1.2.1 Название</i>
ГОСТ 2.701	Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 2.702	Правила выполнения электрических схем
ГОСТ	Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с

2.705	обмотками
ГОСТ 2.708	Правила выполнения электрических схем цифровой вычисл. техники
ГОСТ 2.709	Система обозначения цепей в электрических схемах
ГОСТ 2.710	Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах

Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, не нарушая ее наглядности и удобства пользования. Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия не учитывают или учитывают приближённо.

В полном объеме правила и способы выполнения схем изложены в действующих ГОСТах, номера которых приведены в таблице 6.1.

При выполнении схем применяют условные графические обозначения (УГО), установленные стандартами на соответствующие схемы (таблица 6.2.).

Таблица 6.2 - Стандарты на выполнение условных графических обозначений элементов [11]

ГОСТ	Название
ГОСТ 2.723	Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы
ГОСТ 2.725	Устройства коммутирующие
ГОСТ 2.727	Разрядники, предохранители
ГОСТ 2.728	Резисторы, конденсаторы
ГОСТ 2.729	Приборы измерительные
ГОСТ 2.730	Приборы полупроводниковые
ГОСТ 2.731	Приборы электровакуумные
ГОСТ 2.732	Источники света
ГОСТ 2.733	Обозначения условные детекторов ионизирующих излучений в схемах
ГОСТ 2.734	Линии сверхвысокой частоты и их элементы
ГОСТ 2.735	Антенны



ГОСТ	Название
ГОСТ 2.736	Элементы пьезоэлектрические и магнитоstrictionные. Линии задержки

При построении схемы электрической принципиальной функциональных узлов (ФУ) графические обозначения элементов и соединяющие их линии электрической связи следует располагать так, чтобы не нарушалась удобочитаемость схемы, и обеспечивалось наилучшее представление о структуре ФУ и взаимодействии его составных частей (функциональных групп и элементов). Допускается располагать УГО на схеме в том же порядке, в котором они расположены в изделии, при условии, что это не нарушит удобочитаемость схемы.

В приложении к методическим указаниям приведены размеры условных графических обозначений некоторых элементов. Размеры условных графических обозначений, а также толщины их линий должны быть одинаковыми на всех схемах для данного изделия.

Расстояние (просвет) между двумя соседними линиями графического обозначения должно быть не менее 1,0 мм. Остальные обозначения следует изображать в размерах, в которых они выполнены графически в стандартах. Расстояние между отдельными УГО не должно быть менее 2 мм. Допускается:

- пропорционально уменьшать все обозначения, сохраняя четкость схемы;
- увеличивать условные графические обозначения при вписывании в них поясняющих знаков;

- уменьшать УГО, если они используются как составные части обозначений других элементов, например резистор в ромбической антенне;

- поворачивать или изображать зеркально повернутым условное обозначение на угол, кратный  $45^\circ$ , по сравнению с изображением, приведенным в стандарте (выпрямительные мосты, мультивибраторы, триггеры и т.д.). Делать это следует только в необходимых случаях - например, изображение дифференциального каскада, мостового выпрямителя и т.п. Если при повороте или зеркальном изображении условных графических обозначений может нарушиться смысл или удобочитаемость обозначения, то такие обозначения должны быть изображены в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах.

Линии электрической связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линий связи, длину которых следует по возможности ограничивать.

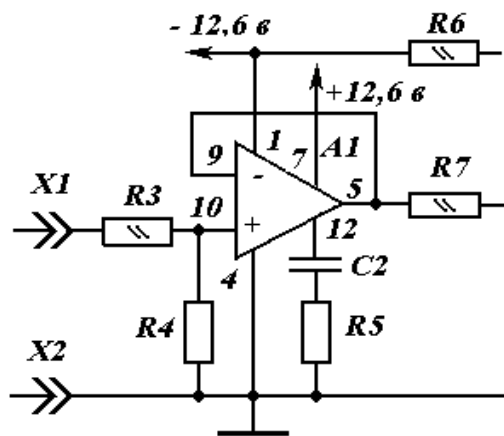


Рисунок 6.1 - Фрагмент электрической схемы: обрыв линии связи [11]

В общем случае толщина линий связи и графических обозначений одинакова (рекомендуется 0,3 .. 0,4 мм). На одной схеме следует применять не более трех размеров линий связи по толщине.

Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм.

Линии связи на электрических схемах должны быть показаны, как правило, полностью. Если линии связи затрудняют чтение схемы, их можно оборвать, закончив стрелкой, и указать обозначение или наименование, присвоенное этой линии. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий, например подключения, и необходимые характеристики цепей, например - номер провода, наименование сигнала, полярность, потенциал и т.п. (рисунок 6.1).

При проектировании изделия, в которое входят несколько разных устройств, на каждое устройство рекомендуется выполнять самостоятельную принципиальную схему. К устройствам, которые могут быть применены в других изделиях или самостоятельно, безусловно, следует выполнять самостоятельные принципиальные схемы. Это позволит в дальнейшем сэкономить не только время, но и значительные ресурсы.

При оформлении схем изделия, в состав которых входят одинаковые устройства, имеющие самостоятельные принципиальные схемы, каждое такое устройство рассматривают как элемент схемы изделия и изображают его в виде прямоугольника сплошной линией, равной по толщине линии связи или условного графического обозначения. Ему присваивают позиционное обозначение и записывают в перечень элементов одной позицией.

Функциональные группы, не имеющие самостоятельных схем, на схеме устройства выделяют контурными штрих пунктирными линиями, равными по толщине линиям связи. Фигура, очерченная контурной линией, как правило, должна быть прямоугольником. Допускается выделять части схемы фигурами непрямоугольной формы.

Возле графических обозначений (справа или сверху) или на свободном поле схемы допускается помещать различные технические данные. Например, номинальные значения их параметров, а на свободном поле схемы - диаграммы, таблицы, текстовые указания и т.п.

К схемам или взамен схем в случаях, установленных правилами выполнения конкретных видов схем, выпускают в виде самостоятельных документов таблицы, содержащие сведения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и другую информацию. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической схеме соединений - ТЭ4. В основной надписи документа указывают наименование изделия, а также наименование документа "Таблица соединений". Таблицы соединений записывают в спецификацию после схем, к которым они выпущены, или вместо них.

Допускается разрабатывать схемы совмещенные, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа. Например, на схеме соединений изделия показывают его внешние подключения. При выпол-

нении схем совмещенных должны быть соблюдены правила, установленные для схем соответствующих типов.

Если в связи с особенностями изделия объем сведений, необходимых для его проектирования, регулировки, контроля, ремонта и эксплуатации, не может быть передан в комплекте документации в схемах установленных видов и типов, то допускается разрабатывать схемы прочих видов и типов. Состав, наименования и коды прочих схем установлены в отраслевых стандартах.

На изделие допускается выполнять схему определенного вида и типа на нескольких листах или вместо одной схемы определенного вида и типа выполнять совокупность схем того же вида и типа. При этом каждая схема должна быть оформлена как самостоятельный документ. При выпуске на изделие нескольких схем определенного вида и типа в виде самостоятельных документов допускается в наименовании схемы указывать название функциональной цепи или функциональной группы (например, схема электрическая принципиальная привода, схема электрическая принципиальная цепей питания). В этом случае каждой схеме присваивают обозначение по ГОСТ 2.201-80, как самостоятельному конструкторскому документу и, начиная со второй схемы, к коду схемы в обозначении добавляют через точку арабскими цифрами порядковые номера (например, РКФ.123456.001ЭЗ, РКФ. 123456.001ЭЗ.1; или РКФ.654321.005ТЗ, РКФ.654321.005ТЗ.1, КФ . 654321 . 005Т 3.2).

Состав схем на изделие определяется в зависимости от его особенностей. Количество типов схем на изделие должно быть минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Между схемами одного комплекта конструкторских документов на изделие должна быть установлена однозначная связь, которая обеспечила бы возможность быстрого отыскания одних и тех же элементов, связей или соединений на всех схемах данного комплекта.

На схеме одного вида допускается изображать элементы схем другого вида, непосредственно влияющие на работу схемы этого вида, а также элементы и устройства, не входящие в изделие, на которое составляют схему, но необходимые для разъяснения принципов работы изделия.

При выполнении принципиальной схемы отдельно, как и на нескольких листах следует выполнять следующие требования:

- при присвоении элементам позиционных обозначений соблюдают сквозную нумерацию в пределах изделия;
- перечень элементов должен быть общим;
- отдельные элементы допускается повторно изображать на других листах схемы, сохраняя позиционные обозначения, присвоенные им на одном из листов схемы. В этом случае на схемах помещают указания по типу: «Элементы, изображенные на схеме и не включенные в перечень элементов, см. АБВГ.112233.004ТЗ».

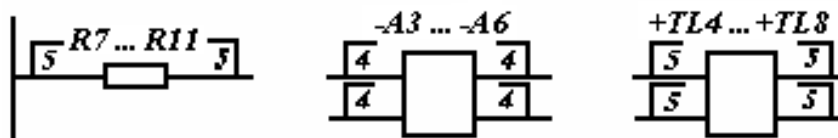


Рис.6.2 – Изображение одинаковых параллельно соединенных ветвей [11]

При разработке на одно изделие нескольких самостоятельных принципиальных схем следует выполнять условие, что в каждой схеме должен быть речень только тех элементов, позицион-обозначения которым присвоены на этой схеме.

При наличии в изделии нескольких одинаковых элементов, соединенных параллельно, допускается вместо изображения всех ветвей параллельного соединения изображать только одну ветвь, указав количество ветвей при помощи обозначения ответвления. Около графических обозначений, изображенных в одной ветви, проставляют их обозначения. При этом должны быть учтены все элементы, устройства или функциональные группы, входящие в это параллельное соединение (рисунок 6.2). Элементы в этом случае записывают в перечень элементов в одну строку.

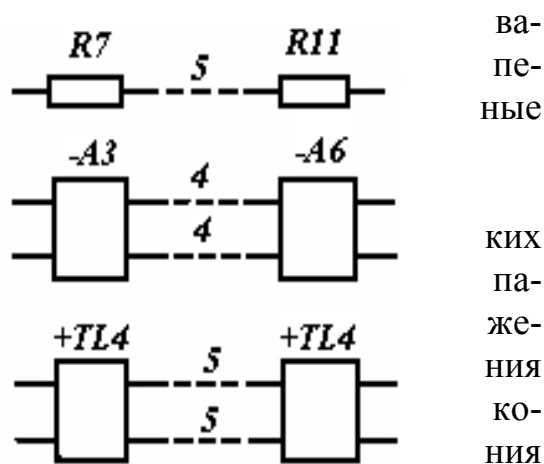


Рисунок.6.3 – Присвоение обозначений элементам не изображенным на схеме [11]

При присвоении элементам схемы обозначений должны быть учтены элементы, не изображенные на схеме (рисунок 6.3). Над штриховой линией при этом указывают общее количество одинаковых элементов. Элементы в этом случае записывают в перечень элементов в одну строку. Схемы выполняются для изделий, находящихся в отключенном положении (рисунок 6.4).

При наличии в изделии трех и более одинаковых элементов, соединенных последовательно, допускается вместо изображения всех последовательно соединенных элементов изображать только первый и последний элементы, показывая связи между ними штриховыми линиями.

Если элементы в схеме используются не полностью (например, не все контакты реле), то допускается показывать только используемые части элементов (например, изображение реле К4 ... К8 на рисунке 6.5).

Элементы типа реле, трансформаторов и других изделий, содержащих большое количество контактов, могут быть изображены на схеме двумя способами: совмещенным и разнесенным. При совмещенном способе (рисунок 6.7) составные части элементов или устройств изображаются на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесенном способе (реле К5 .. К8 на рисунке 6.5) - в разных местах для большей наглядности отдельных цепей.

Выводы неиспользованных частей изображения следует чертить короче, чем выводы использованных частей.

На схеме указывают обозначения выводов (контактов) элементов или устройств, нанесенные на изделие или установленные в их документации (см. рисунок 6.4, обозначение выводов трансформатора). Однако при изображении одинаковых элементов (устройств), обозначение выводов допускается указывать на одном из них (рисунок 6.8), при разнесенном способе - на каждой составной части элемента или устройства.

Схемы рекомендуется выполнять строчным способом: условные графические обозначения устройств и их составных частей, входящие в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой. Отдельные цепи изображают рядом - в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. При этом строки нумеруют арабскими цифрами (см. рисунок 6.5).

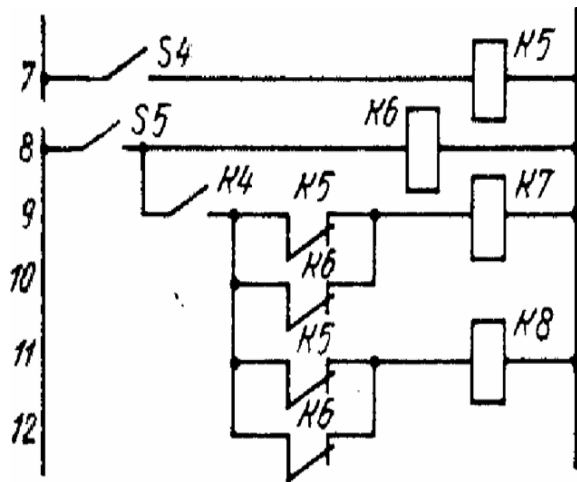


Рисунок.6.5 - Строчный метод изображения схемы: изображение элементов в схеме частично разнесенным способом [11]

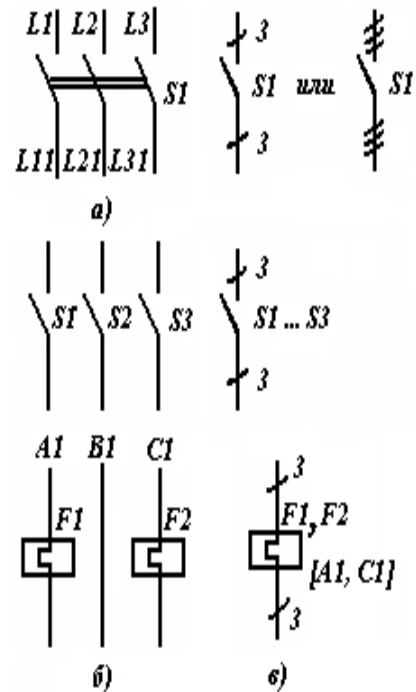


Рисунок.6.6 - Обозначение электрических цепей (а); много- (б) и однолинейное (в) изображение схем [11]

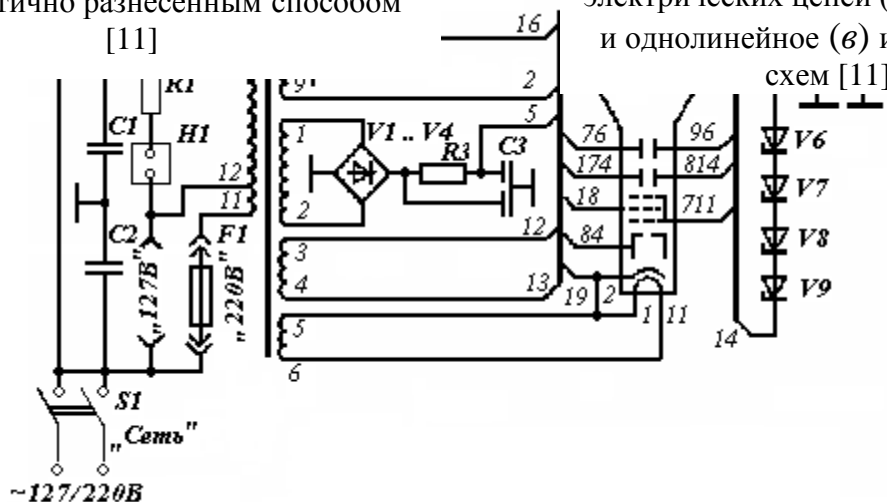


Рисунок.6.4 - Фрагмент схемы электрической принципиальной [11]

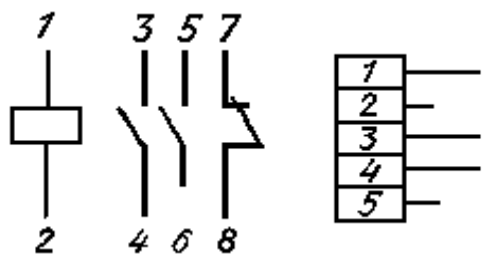


Рисунок.6.7 - Изображение элемента (реле) совмещенным способом [11]

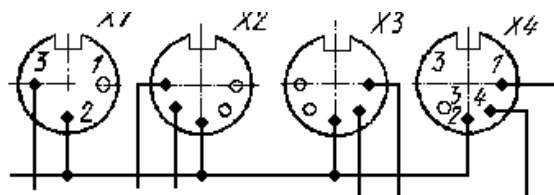


Рисунок.6.8 - Обозначение выводов (контактов), содержащихся в документации или указанных на чертеже [11]

На рисунке 6.6 представлены два способа изображения схем: одно- и многолинейное. Как видно из рисунка 6.6, (б), при многолинейном изображении каждую цепь показывают отдельной линией, а элементы - отдельными условными графическими обозначениями. На рисунке 6.6, (в) приведено однолинейное изображение цепи, когда цепи, выполняющие идентичные функции, изображают одной линией, а одинаковые элементы этих цепей - одним условным графическим обозначением

При необходимости на схеме электрические цепи обозначают – дают имена. Эти обозначения должны соответствовать ГОСТ 2.709-72. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Участки цепи, проходящие через разъемные, разборные или неразборные контактные соединения, должны иметь одинаковое обозначение. При обозначении цепей применяют арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита. Цифры и буквы выполняют одним размером шрифта. В силовых цепях переменного тока используют обозначения L1, L2, L3 и N и последовательные числа (см. рисунок 6.6, а). Например, участки цепи первой фазы L1 – L11, L12, L13 и т.д., участки цепи второй фазы L2 - L21, L22, L23 и т.д. Участки силовых цепей постоянного тока положительной полярности обозначают нечетными числами, а отрицательной полярности - четными. У входных и выходных участков цепи указывают полярности: «L+», «L-». Обозначения про- ставляют около концов или в середине участка цепи:

а) при вертикальном расположении цепей - слева от изображения цепи (рисунк 6.6, а);

б) при горизонтальном расположении цепей - над изображением цепи.

Для упрощения схемы допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в общую (групповую) линию, условно изображающую группу линий электрической связи проводов, кабелей, шин, следующих на схеме в одном направлении (рисунок 6.9), но при подходе к контактам (элементам) каждую линию связи изображают отдельной линией.

Линии групповой связи выполняют утолщенными линиями вдвое толще принятой толщины линий связи. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. При слиянии линий связи (в линию групповой связи) каждую

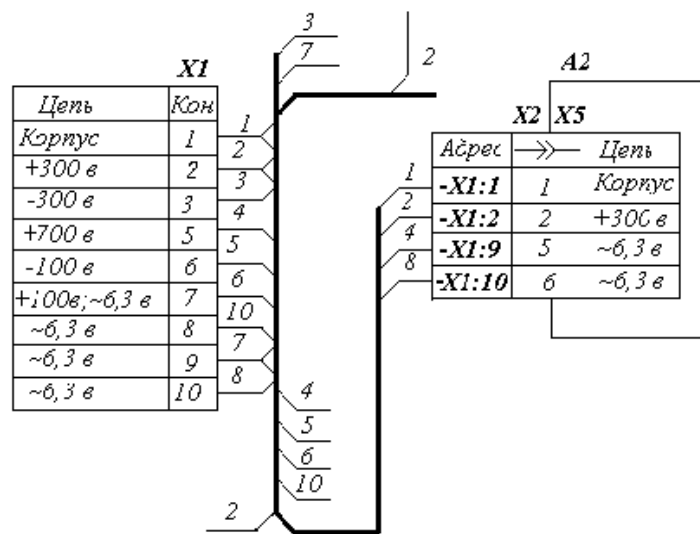


Рисунок.6.9 - Изображение групповых линий связи [11]

линию помечают цифрами или обозначениями по ГОСТ 2.709-72. При этом каждую линию в месте слияния, а при необходимости на обоих концах помечают условными обозначениями. Подходящие линии могут быть изображены либо под прямым углом, либо с изломом под углом 45° к групповой линии.

На схеме электрической принципиальной рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, силу тока, сопротивление, индуктивность, полярность, потенциал и т.п.). Также рекомендуется указывать на схеме параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах, разъемах изделия (рисунок 6.10). Если невозможно указать характеристики и параметры входных и выходных цепей изделия, то на схеме указывают наименование цепей, например: Вход, Выход, База и т.п. Надписи, знаки или графические обозначения, которые должны быть нанесены на изделие заключают в кавычки (на рисунке 6.4: «Сеть», «127В», «220 В»). Их помещают около соответствующих элементов для пояснения их назначения. Если на изделие должна быть нанесена надпись в кавычках, то на поле схемы приводят соответствующие указания.

На схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Такие сведения указывают либо около графических обозначений, по возможности справа или сверху, либо на свободном поле схемы. Около графических обозначений элементов и устройств помещают, например, номинальные значения их параметров, а на свободном поле схемы - диаграммы, таблицы, текстовые указания. Обычно показывают диаграммы последовательности временных процессов, циклограммы, таблицы замыкания контактов коммутирующих устройств, указания о специфических требованиях к монтажу и т.п. Текстовые данные приводят на схеме в тех случаях, когда содержащиеся в них сведения нецелесообразно или невозможно выразить графически или условными обозначениями. Содержание текста должно быть кратким и точным. В надписях на схемах не должны применяться сокращения слов, за исключением общепринятых или установленных в стандартах. На рисунке 6.11 изображён пример таблицы характеристик и выходных цепей без графы «Адрес».

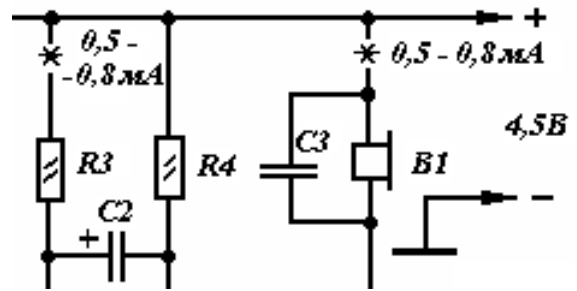


Рисунок 6.10 - Нанесение характеристик входных и выходных цепей, параметров в контрольных точках [11]

<i>X1</i>		
<i>Конт.</i>	<i>Цепь</i>	<i>Адрес</i>
1	$\Delta f = 0,3 \dots 3 \text{ кГц}; R_n = 600 \text{ Ом}$	= A1 - X1:1
2	$U_{\text{вых}} = 0,5 \text{ в}; R_n = 600 \text{ Ом}$	= A1 - X1:2
3	$U_{\text{вых}} = +60 \text{ в}; R_n = 500 \text{ Ом}$	= A1 - X1:3
4	$U_{\text{вых}} = +20 \text{ в}; R_n = 1 \text{ кОм}$	= A1 - X1:4

Рисунок 6.13 - Форма таблицы характеристик входных и выходных цепей

Текстовые данные в зависимости от их содержания и назначения могут быть расположены рядом с графическими обозначениями, внутри графических обозначений, над линиями связи, в разрыве линий связи, рядом с концами линий связи, на свободном поле схемы.

Текстовые данные, относящиеся к линиям, ориентируют параллельно го-

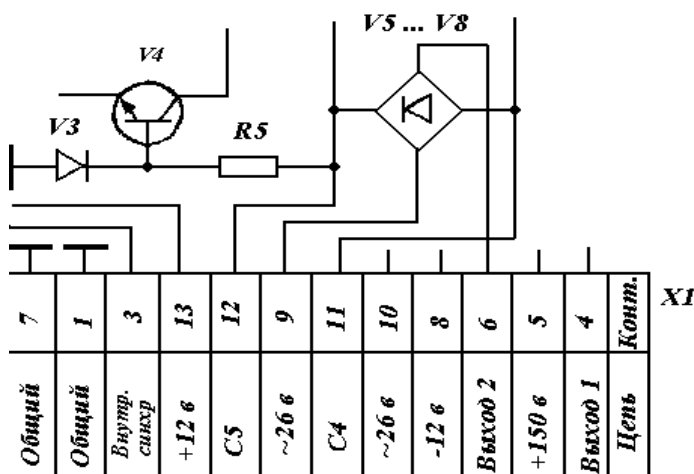


Рисунок 6.11- Пример таблицы характеристик и выходных цепей без графы «Адрес» [11]

<i>Конт.</i>	<i>Адрес</i>	<i>Цепь</i>	<i>Адрес внешний</i>
1	K1:3	+ 27 в	= A4 - X3:1
2	K1:5	- 27 в	= A4 - X3:2

Рисунок 6.12 - Таблица характеристик, цепей и адресов внешних соединителей [11]



ризонгальным участкам соответствующих линий. При большой плотности схемы допускается вертикальная ориентация данных.

На схеме около условных графических обозначений элементов, требующих пояснения в условиях эксплуатации (например, переключатели, потенциометры, регуляторы и т.п.), помещают соответствующие надписи, знаки или графические обозначения.

На поле схемы, над основной надписью, допускается помещать необходимые технические указания, например: требования о недопустимости совместной прокладки некоторых проводов, жгутов, кабелей, указывать минимально допустимые расстояния между проводами, жгутами, жгутами и кабелями, данные о специфичности прокладки и защиты проводов, жгутов, кабелей и т.п.

На схеме около условных графических обозначений элементов, требующих пояснения в условиях эксплуатации (например, переключатели, потенциометры, регуляторы и т.п.), помещают соответствующие надписи, знаки или графические обозначения.

На поле схемы, над основной надписью, допускается помещать необходимые технические указания, например: требования о недопустимости совместной прокладки некоторых проводов, жгутов, кабелей, указывать минимально допустимые расстояния между проводами, жгутами, жгутами и кабелями, данные о специфичности прокладки и защиты проводов, жгутов, кабелей и т.п.

При выполнении схемы на нескольких листах технические указания, являющиеся общими для всей схемы, следует располагать на свободном поле, по возможности над основной надписью первого листа схемы. А технические указания, относящиеся к отдельным элементам, располагают или в не-

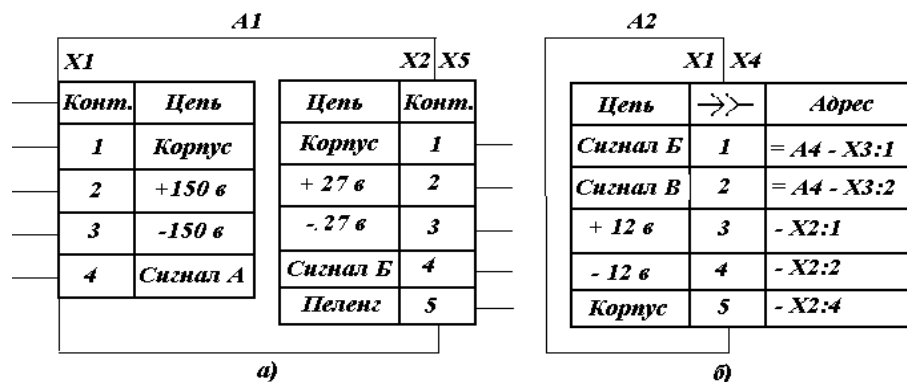


Рисунок 6.14 - Размещение таблицы характеристик входных и выходных цепей при изображении устройств в виде прямоугольника [11]:

а - без указания адресов внешних соединений;

б - с указанием адресов внешних присоединений

посредственной близости от изображения элемента, или на свободном поле того листа, где они являются наиболее необходимыми для удобства чтения схемы

Элементы, устройства, функциональные группы и связи каждого вида изображают на схеме по правилам, установленным для соответствующих видов схем данного типа.

Сведения, помещаемые на схеме, и оформление схемы в целом следует определять по правилам, установленным для соответствующих видов схем данного типа.

Если разрабатываемое Вами изделие будет иметь разъем для его подключения и основному блоку, то взамен условного графического обозначения разъема рекомендуется помещать на поле схемы таблицы по форме, приведенной на рисунке 6.12. В таблицы записывают характеристики входных и выходных цепей, а также адреса их внешних подключений, если они известны. Например, адрес «= А - Х3:5» означает, что выходной контакт изделия должен быть соединен с пятым контактом третьего соединителя устройства А. Адрес указывают только в том случае, если изделие заведомо предназначен для работы в определенном блоке (приборе). Каждой таблице присваивается позиционное обозначение элемента (разъема), взамен которого условного графического обозначения она помещена. Из таблицы могут быть изъяты графы, если сведения для них отсутствуют («адрес» на рисунке 6.11), и введены дополнительные. Если на схеме несколько таких таблиц, головку таблицы можно приводить только один раз. Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы.

Аналогичные таблицы рекомендуется помещать и на линиях электрической связи, изображающих входные и выходные цепи изделия и которые не заканчиваются на схеме разъемами.

Если разрабатываемое изделие с печатным монтажом имеет только контактные площадки (штыри, пистоны, клеммы) для внешних подключений, то таблицы заполняются аналогично, как и для изделия с разъемами, но позиционные обозначения таблицам не присваиваются.

Пусть устройства (рисунке 6.14), имеющие самостоятельную принципиальную схему, изображены в виде прямоугольника. Тогда вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов в прямоугольнике (рисунок 6.14, а) помещают таблицы с характеристиками входных и выходных цепей, а вне прямоугольника (рисунок 6.14, б) - таблицы с указанием адресов внешних присоединений.

Сведения о соединении контактов многоконтактных соединителей записывают двумя способами:

1) в таблицах (рисунок 6.13) около изображения соединителей, на поле схемы или на последующих листах помещают:

в графе «Конт.» - номер контакта соединителя (записывают по возрастанию номеров);

в графе «Адрес» - номер цели и (или) позиционное обозначение элементов, соединенных с контактом;

в графе «Цепь» - характеристику цепи;

в графе «Адрес внешний» - адрес внешнего соединения;

2) соединения с контактами соединителя изображают разнесенным способом (рисунок 6.15). Точки, соединенные штриховой линией с соединителем, обозначают соединения с соответствующими контактами этого соединителя.

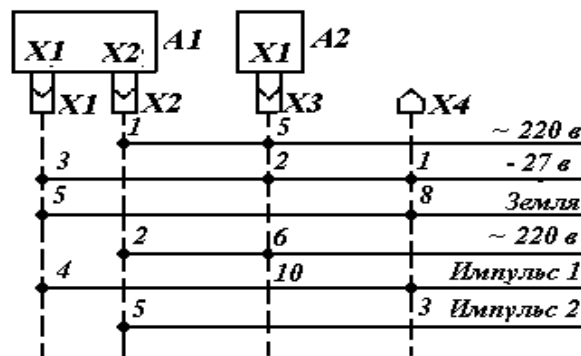


Рисунок.6.15 - Нанесение сведений о соединении контактов входных и выходных цепей при изображении и разнесенным способом [11]

## 6.2 Оформление перечня элементов

Заключительным этапом выполнения электрических принципиальных схем проектируемых устройств является представление перечня элементов.

Правила выполнения текстового конструкторского документа перечня элементов к электрическим принципиальным схемам приведены в ГОСТ 2.702-75 и ГОСТ 2.701-76. Все сведения об элементах, входящих в состав изделия и изображенных на схеме, записывают в перечень элементов, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.

В первом случае перечень оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз по форме рисунок 6.16, как правило, над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм от нее. Продолжение перечня помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

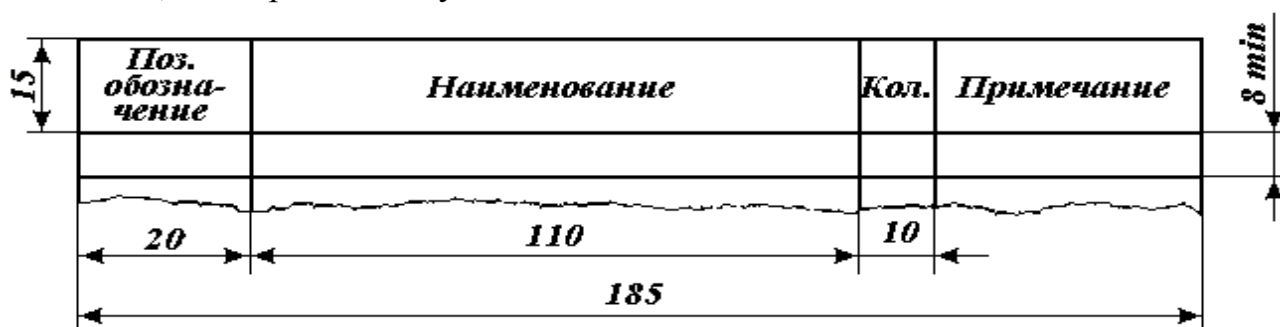


Рисунок 6.16 - Форма таблицы перечня элементов без разбивки поля схемы на зоны [11]

Во втором случае перечень элементов выполняют на формате А4 с присвоением шифра, состоящего из буквы П (перечень) и кода схемы, к которой выпускается перечень, например: ПЭЗ - перечень элементов к принципиальной электрической схеме.

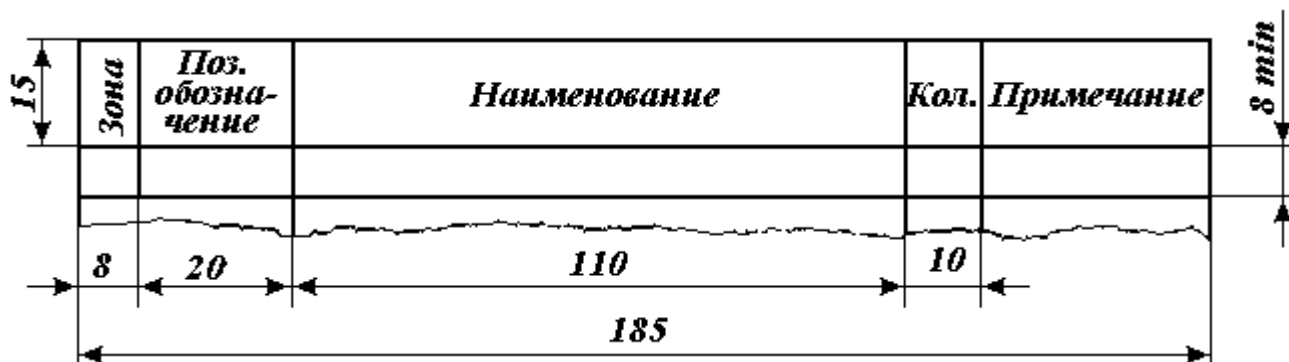


Рисунок 6.17 - Форма таблицы перечня элементов с разбивкой поля схемы на зоны [11]

В графах перечня указывают следующие данные:

- в графе «Поз. Обозначение» - позиционное обозначение элемента, устройства или обозначение функциональной группы;
- в графе «Наименование» - наименование элемента (устройства) в соответствие с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, а также обозначение этого документа (основной конструкторский документ: ГОСТ, ОСТ, ТУ и т.д.);

<i>Поз. обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
	<i>Резисторы</i>		
<i>R1</i>	<i>МЛТ-0,5-300 кОм +- 5% ...</i>	<i>1</i>	
<i>R2</i>	<i>ИСП-1А-560 Ом +- 10% ОС-3-12</i>		
	<i>ГОСТ 5574-65</i>	<i>1</i>	
<i>R3</i>	<i>ПЭВ-10-3 кОм +- 5% ГОСТ 6513-66</i>	<i>1</i>	

Рисунок 6.18 - Запись в перечень элементов, имеющих общее наименование [11]

в графе «Примечание» - технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании (при необходимости);

- в графе «Зона» (в случае разбивки поля схемы на зоны, рисунок 6.17) - обозначение зоны; при строчном способе выполнения схемы - номер строки, в которой расположен данный элемент (устройство).

Элементы записывают в перечень группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и

наибольшим порядковыми номерами, например: R3,R4; C8, ... , C12, а в графу «Кол.» - общее количество таких элементов.

Ниже показаны примеры записи элементов, у которых одинаковые:

- наименования (рисунок 6.18); записывают в виде общего заголовка один раз на каждом листе перечня;
- обозначения документов, на основании которых эти элементы применены (рисунок 6.19);
- устройства или функциональные группы.

Записывают элементы, входящие в каждое устройство (группу), начиная с наименования устройства (группы), которое подчеркивают.

В графе «Кол.» указывают количество одинаковых устройств (групп), изображенных на схеме в одной строке с заголовком; количество элементов, входящих в одно устройство (группу). Элементы устройств (групп) записывают после изделий, в них не входящих.

<b>Поз. обозначение</b>	<b>Наименование</b>	<b>Кол.</b>	<b>Примечание</b>
R37, R38	"МЛТ-0,5-51 кОм +- 5%	2	
R39, R40	"МЛТ-0,5-12 кОм +-10%	2	
D1...D7	<u>Триггер АБВГ.ХХХХХХ.003</u>	17	
R1*	Резистор МЛТ-0,5-510 кОм +- 5%	1	
R2	" МЛТ-0,5-200 Ом +- 5%	1	
R3	" МЛТ-0,5-360 кОм +- 5%	1	
R4	" МЛТ-0,5-510 кОм +- 5%	1	
R5, R6	" МЛТ-0,5-300 Ом +- 5%	2	

Рисунок 6.19 – Запись в перечень элементов, имеющих одинаковые обозначения документов, на основании которых эти элементы применены [11]

Позиционные обозначения элементов, параметры которых подбирают при регулировании, отмечают на схеме и в перечне звездочкой (например, R1\*), на поле схемы помещают запись: «Подбирают при регулировании». В перечне указывают наименование и параметр элемента, близкого к расчётному.

## 7 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ И ДЕТАЛЕЙ

Основным этапом проектирования изделия является его компоновка. Компоновка ЭА - это конструктивное решение поставленной в курсовом проекте задачи, оформленное графическими чертежами и определяющее:

1) пространственное размещение конструктивных элементов и деталей, составляющих изделие;

2) вид всей конструкции изделия с указанием габаритных и установочных размеров, определяющих конструкцию полностью;

3) способы крепления ФУ и элементов изделия;

4) виды электрических соединений между ФУ (разъемные, неразъемные);

5) способы изготовления элементов корпуса изделия (сварка, клепка, литье, штамповка и др.).

Оформление чертежей деталей и сборочных (СБ) чертежей должно соответствовать требованиям стандартов ЕСКД. Общие требования к чертежам - по ГОСТ 2.109.

Чертеж детали должен содержать изображение изделия и другие данные, необходимые для его изготовления (для СБ - сборки) и контроля.

Количество проекций, видов, разрезов и сечений на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для того, чтобы иметь полное представление о форме детали (для чертежа детали) и о взаимной связи соединяемых частей (для сборочного чертежа).

Окончательное решение проектируемого изделия должно быть представлено его сборочным чертежом (СБ), в котором обоснованы решения, принятые для реализации электрического монтажа.

### **7.1 Сборочный чертёж**

Количество сборочных чертежей в курсовом проекте должно быть минимальным, но достаточным для проведения по ним рационального процесса сборки и контроля проектируемого изделия.

Сборочный чертеж должен содержать:

- размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые не обеспечиваются сопряжением поверхностей соединяемых изделий и должны быть выполнены или проконтролированы по этому чертежу;

- указания о характере сопряжения или способе соединения неразъемных соединений;

- номера позиций всех составных частей, совпадающие с номерами позиций в спецификации этого сборочного чертежа. Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей. Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строчку по возможности на одной линии. Размер шрифта номеров позиций должен быть на один - два номера больше, чем размер шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже.

- габаритные размеры;

- установочные и присоединительные размеры, к числу которых относятся координаты и размеры крепежных отверстий или элементов крепления, координаты

наты и размеры элементов конструкции, которые служат для сопряжения по другому сборочному чертежу.

Сборочные чертежи разрешается выполнять упрощенно. На контурных очертаниях предметов допускается не изображать мелкие выступы и впадины, зазоры между стержнем и отверстием, фаски, скругления, проточки, выступы, накатки, если все эти упрощения не затрудняют пользование чертежом в процессе изготовления и контроля изделия.

Разработка сборочного чертежа выполняется в следующей последовательности:

- 1) подготовительные операции;
- 2) разработка окончательного проектного решения;
- 3) определение структуры конструкции и составление спецификации;
- 4) простановка позиций на поле сборочного чертежа и составление технических требований.

Основное изображение изделия в рабочем положении показывают на фронтальной плоскости так, чтобы дать наиболее полное представление об изделии.

Число других изображений должно быть минимальным и достаточным для полного представления о конструкции изделия, обо всех его составных частях, их размещении и взаимосвязях.

Следует обратить внимание на правильное размещение проекционных связей изображения изделия относительного основного (вид слева, сверху).

Если проекционные связи не дают полного представления об изделии, то используют разрезы и сечения, а также местные виды.

По известным габаритным размерам и числу изображений изделия выбирают масштаб по ГОСТ 2.302-68. Правильно выбранный масштаб обеспечивает разборчивость сборочного чертежа и способствует быстрому и верному ознакомлению с конструкцией изделия.

Если СБ содержит информацию только для механической сборки изделия, а электрический монтаж предполагается выполнить по электромонтажному чертежу (МЭ), то масштаб СБ и МЭ должен быть одинаковым.

Выбор формата СБ осуществляют по ГОСТ 2.301-68, а число листов СБ выбирают исходя из необходимости разместить в выбранном масштабе все изображения изделия.

Приступая к выполнению сборочного чертежа, сначала тонкими линиями очерчивают места будущих изображений.

В месте для изображений необходимо предусматривать, кроме собственно изображения, размещение дополнительных сведений: размеров, позиций, указаний о видах соединений, название изображений и т.п. Внутри очерченных площадей пишут тонкими линиями названия изображений - (вид сбоку, вид спереди, вид А и т.д.).

Необходимо оставить место над основной надписью и слева от неё внизу поля чертежа для технических требований и для возможных дополнительных местных изображений.

На каждом шаге выполнения СБ рекомендуется составлять эскизы составных частей конструктива изделия, а для деталей делать предварительный выбор материалов. Держать всю эту информацию "в уме" - методическая ошибка, характерная для начинающих конструкторов.

Если электрические соединения и монтаж выполняют не по сборочному чертежу, то параллельно разрабатывают электромонтажный чертеж.

Разработка СБ ведется в тонких линиях с последующей обводкой. На чертежах в тонких линиях легко внести необходимые изменения на СБ.

На последнем шаге выполнения СБ принимают окончательное решение по общей несущей конструкции изделия, конструкции его корпуса и лицевой панели управления (ЛПУ). При разработке ЛПУ на первый план выступают обеспечение требований эргономики и технической эстетики. Методические рекомендации по художественно-конструкторскому оформлению ЛПУ приведены в [11].

Определение структуры конструкции РЭА заключается в выделении на сборочном чертеже сборочных единиц, деталей, стандартных и прочих изделий, поступающих на сборку РЭА в виде отдельных изделий. На данном этапе структура изделия уточняется, т.к. в процессе разработки конструктивов и конструкции изделия в целом могли быть образованы субблоки, разработаны сборочные единицы и детали, использованы стандартные и прочие изделия.

В процессе определения структуры изделия руководствуются следующими рекомендациями:

- 1) в каждом узле должно быть наименьшее число механических соединений с другими узлами;
- 2) каждый узел должен обеспечивать возможность автономного контроля;
- 3) соединения между узлами должны быть как можно более короткими;
- 4) стыковочные поверхности оригинальных узлов должны быть по возможности одинаковыми;
- 5) не должны объединяться узлы с разными характеристиками надежности;
- 6) стремиться обеспечить полную взаимозаменяемость и исключить механическую обработку и пригоночные работы при сборке;
- 8) необходимо уменьшать число крепежных деталей.

По принятой структуре составляют спецификацию изделия по ГОСТ 2.108-68.

Простановка позиций на поле СБ (порядковые номера составных частей изделия) осуществляется на выносных полках, показывающих размещение этих составных частей в изделии.

Технические требования записывают над основной надписью чертежа и содержат указания о сборке изделия. Указания по простановке позиций и изложению технических требований на СБ даны в ГОСТ 2.109-73.

Каждый сборочный чертеж изделия сопровождается спецификацией. Это документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта. Спецификацию составляют на все перечисленные изделия и выполняют на отдельных листах на каждую сборочную единицу по специальным формам 1 и 1а



ГОСТ 2.108, за исключением случая, когда для сборочной единицы чертеж и спецификацию можно разместить на том же формате.

В общем случае спецификация состоит из разделов (в зависимости от состава изделия те или иные разделы могут отсутствовать), расположенных в следующей последовательности:

- документация,
- комплексы,
- сборочные единицы,
- детали,
- стандартные изделия,
- прочие изделия (разделы "Стандартные изделия и "Прочие изделия" допускается объединять под общим наименованием "Прочие изделия"),
- материалы,
- комплекты.

Согласно ГОСТ 2.108 в раздел «Документация» вносят основной комплект конструкторских документов изделия (за исключением его спецификации), а также документацию на детали, кроме их чертежей (если такая имеется). В разделы «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» вносят соответствующие составные части, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. При этом «Комплексы» и «Сборочные единицы» записывают с обозначением спецификации, а входящие в них составные части по отдельности не вписывают [11].

## **7.2 Электромонтажный чертеж**

Конструкторскую документацию для сборки электрического монтажа проектируемой РЭА выполняют по одному из четырех вариантов (А, Б, В, Г) по ГОСТ 2.413-72. Этот стандарт допускает разрабатывать чертежи на изделие с электромонтажом в следующих вариантах:

а) один сборочный чертеж для изделий, механическую сборку и электромонтаж которых целесообразно производить по одному чертежу;

б) два сборочных чертежа для изделий, механическую сборку и электромонтаж которых целесообразно производить по разным чертежам. На изделие механической сборки выпускают сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ 2.109-73 и спецификацию в соответствии с ГОСТ 2.108-68. На изделие с электромонтажом выпускают сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ 2.413-72 и спецификацию в соответствии с ГОСТ 2.108-68 и ГОСТ 2.413-72. На сборочном чертеже изделия с электромонтажом составные части, выделенные в самостоятельную механическую единицу, не изображают;

в) сборочный чертеж для механической сборки, электромонтажный чертеж с тем же обозначением с шифром МЭ и одна общая спецификация;

г) сборочный чертеж для механической сборки и таблица соединений, которая выпускается отдельным документом с обозначением монтируемого изделия, наименованием «Таблица соединений», шифром ТБ. Вариант используется в

индивидуальном производстве и серийном, когда места прокладки и крепления соединительных проводников определены конструкцией изделия.

Наиболее универсальным является вариант В, при котором для механической сборки используют чертеж СБ, а для электромонтажа - МЭ.

Принципиальные конструктивные решения по соединительным цепям проектируемого устройства принимаются в ходе составления СБ. Поэтому разработку МЭ ведут в следующей последовательности:

1) решают, какие элементы корпуса РЭА следует показать развернутыми или условно не показанными на чертеже;

2) тонкими линиями изображают составные части изделия, устанавливаемые по сборочному чертежу (при механической сборке);

3) изображают узлы и элементы, устанавливаемые при электрическом монтаже;

4) обозначают контакты узлов и элементов в соответствии со схемой;

5) выбирают марку и цвет проводов;

6) изображают электрические соединения и обозначают жгуты, кабели, провода;

7) составляют дополнительные разделы электромонтажа в общей спецификации изделия.

Часто электромонтажный чертеж для изделия выполняется в том же масштабе, что и чертеж для механической сборки, со следующими особенностями. Сплошными основными линиями изображают только те составные части, которые устанавливают при электромонтаже, остальное («обстановку») чертят упрощенно тонко для определения мест установки и присоединения составных частей, устанавливаемых при электромонтаже. «Обстановку» поясняют соответствующими надписями и обозначениями (например, обозначения резистор R2, вилка X1, панель и другие). На чертеже указывают позиционные обозначения устанавливаемых элементов (предпочтительно над ними или справа) согласно электрической принципиальной схеме. Элементам (переходные стойки, лепестки и др.), отсутствующим в принципиальной схеме, присваивают позиционные обозначения после элементов соответствующего функционального назначения (согласно схеме). Таким элементам разрешается присваивать обозначения, состоящие из буквы Э и порядкового номера.

На чертежах допускается применять аксонометрические проекции; смещать изображения составных частей с соответствующим указанием («смещено») на чертеже либо в технических требованиях; поворачивать изображения с указанием угла поворота; условно изменять (укорачивать, удлинять и т.п.) очертания составных частей.

Проводники изображают условно в виде линий. Одиночные провода, идущие рядом, допускается сливать в одну линию. Линии, изображающие проводники, можно давать не полностью: обрывать при переходе с одного вида (или листа) на другой с указанием обозначения, присвоенного линии; линии, присоединяемые к многоконтактному изделию, следует заканчивать у его внешнего очертания. Указания о присоединении проводников к контактам изделия с обо-

значением концов линий можно представлять в табличной форме. При недостатке места около изображения изделия таблицу можно разместить на свободном месте чертежа. Все проводники должны быть пронумерованы. Обозначение проводника наносят около его концов и у мест разветвления. Короткие проводники, легко читаемые на чертеже, можно обозначать один раз посередине изображения.

Сведения о всех проводниках (длина, адреса присоединения и др.) указывают в таблице соединений, которую помещают на первом листе чертежа для электромонтажа либо включают его последующими листами.

Составные части, устанавливаемые по электромонтажному чертежу, в рабочей документации (в спецификации) записывают с нового листа под заголовком: «Устанавливают по АБВГ. ХХХХХХ. ХХХМЭ», в остальном - в соответствии с ГОСТ 2.108-68.

Если при регулировании изделия с электромонтажом должен быть осуществлен подбор какой-либо составной части, то все составные части, участвующие в подборе, следует записывать в конце группы составных частей того же функционального назначения в соответствующем разделе в порядке возрастания основных параметров. При этом графу «Поз.» не заполняют, а в графе «Примечание» указывают позиционные обозначения составных частей, подбираемых при регулировании, в графе «Кол.» записывают десятичную дробь, которой характеризуется вероятность использования составной части изделия. Суммарная вероятность количества подобранных составных частей должна быть равна единице. В случае подбора составных частей для двух и более позиционных обозначений их количество увеличивается соответственно.

В приложении 10 данного методического пособия содержатся материалы, используемые в изделиях с электромонтажом. Материалы для печатных плат и гибких печатных кабелей приведены в приложении 11 и выбирают по ГОСТ 10316-78; марки материалов, отсутствующие в ГОСТ 10316-78, приведены в ОСТ 4.010.022-85.

Пример условного обозначения стеклотекстолита высшего сорта толщиной 1,5 мм, облицованного с одной стороны медной оксидированной фольгой толщиной 35 мкм: Стеклотекстолит СФ-1-35-1,5 в.с. ГОСТ 10316-78 [11].

### **7.3 Конструирование деталей**

Конструирование деталей проектируемого изделия входит в задачу курсового проекта. Количество чертежей деталей в проекте согласовывается с руководителем проекта.

Конструирование деталей обосновывается с учетом следующих позиций:

- 1) жесткости детали;
- 2) трудоемкости изготовления;
- 3) техническим показателям обработки;
- 4) допускам и шероховатостям поверхностей;
- 5) покрытиям поверхностей.

Размеры и допуски должны обосновываться расчетами размерных цепей и допусков [16].

Чертежи деталей должны содержать все сведения:

- о форме;
- о размерах и предельных отклонениях. Предельные отклонения размеров должны соответствовать требованиям стандартов Единой системы допусков и посадок (ЕСДП, ГОСТ 25346).

- о шероховатости поверхностей деталей, выполняемых по данному чертежу, независимо от метода их образования;

- о покрытии, о материале и его свойствах после обработки (например, твердость после закалки) в соответствии со стандартами или техническими условиями (ТУ) на данный материал;

- о технических требованиях, которые должны располагаться над основной надписью чертежа, допускается формулировать ссылки на стандарты, технические условия и другие документы, если они полностью и однозначно определяют соответствующие требования.

На рабочих чертежах не допускается давать технологические указания, за исключением случаев, когда существует единственный способ изготовления или контроля, который может гарантировать требуемое качество изделия. Изделие должно быть показано на чертеже с теми размерами и допусками, какие оно будет иметь после изготовления. Для изделий с покрытиями размеры и чистоту поверхности на чертежах показывают без учета покрытия. Если покрытие влияет на сопряжение изделий (т.е. размеры и чистоту поверхности необходимо выдерживать с учетом покрытия), то соответствующие размеры и обозначения шероховатости отмечают знаком «\*», и на поле чертежа в технических требованиях делают запись: «\* Размеры и шероховатость поверхности после покрытия».

В графе «Материалы» основной надписи чертежа детали помещают данные, характеризующие материал, из которого она должна быть изготовлена. Эти данные включают в себя наименование материала, марку, качественную характеристику (если она существует), номер стандарта или технических условий, по которым выпускается материал. Если деталь будет изготовлена из материала определенного сортамента, то в этой же графе должны содержаться наименование сортамента, его размерная и качественная характеристики (если они существуют), номер стандарта или технических условий, устанавливающих сортмент. Например, сталь 20 ГОСТ 1050-74, круг 56 ГОСТ 2590-71.

Рабочие чертежи разрабатывают на каждую деталь всего изделия. Допускается не делать чертеж на детали, изготовленные из сортового материала резкой под прямым углом и из листового материала резкой по периметру прямоугольника или окружности без последующей обработки. Это распространяется на несложные конструкции и на изделия индивидуального производства, размеры и форма которых определяются по месту расположения детали. В этом случае на чертежах указывают данные, необходимые для изготовления и контроля таких деталей. Если деталь конструкции должна изготавливаться наплавкой на детали

металла или сплава, опрессовкой их пластмассой, резиной и т.п., то на наплавляемый материал, на резину или пластмассу отдельные чертежи не выпускают. В этом случае на сборочном чертеже показывают все необходимые размеры, допустимые отклонения и шероховатость поверхности.

Для выбора покрытия элементов конструкции проектировщик должен учесть условия эксплуатации изделия (агрессивность среды), свойства материалов, из которых изготовлено изделие, с точки зрения их коррозионной стойкости, защитные свойства покрытия, допустимость контакта металлов по скорости протекания электрохимической коррозии. В качестве покрытий деталей РЭС применяют неметаллические химические (оксидирование, пассивирование, фосфатирование, диффузионное), металлические и неметаллические гальванические (серебрение, кадмирование, хромирование, анодирование) и лакокрасочные. Рекомендации по выбору покрытий даны в [16].

Для поверхностей деталей, которые в процессе изготовления подвергаются механической обработке (контур, отверстия, пазы и т.п.), устанавливают норму на **шероховатость**.

Шероховатость ограничивают, нормируя максимально допустимое значение параметра шероховатости  $Rz$  (высота неровностей, вычисленная по десяти точкам профиля); обычно  $Rz$  не должна превышать 40 мкм (поверхности деталей, не соприкасающиеся с другими поверхностями и не используемые в качестве технологических баз) по ГОСТ 2769-73.

Шероховатость поверхностей деталей на чертеже обозначают следующим образом:

- на линиях контура или выносных, относящихся к поверхностям детали ставят знак  $\checkmark$ , означающий, что шероховатости этих поверхностей должны удовлетворять нормам, установленным на материал, из которого изготовлена плата;

- для всех поверхностей, подвергаемых механической обработке, обычно устанавливают одинаковые требования шероховатости поверхности. При этом в правом верхнем углу чертежа ставят знак  $\checkmark$  и пишут значение параметра шероховатости, например  $Rz40 \checkmark$ . После этого ставят знак  $(\checkmark)$ , который означает, что норма  $Rz < 40$  мкм относится ко всем поверхностям, кроме обозначенных знаком  $\checkmark$ . Примером обозначения требований к шероховатости поверхности проектируемой детали является наличие в правом верхнем углу чертежа надписи:  $Rz40 \checkmark (\checkmark)$ .

## 8 КОНСТРУКТИВНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 8.1 Уровни разукрупнения ЭС. Современные и перспективные конструкции электронных средств

Уровни разукрупнения ЭС в немодульном исполнении по конструктивной сложности могут быть представлены в виде следующей цепочки (сверху вниз): **шкаф** → **блок** → **ячейка** [22].

**Шкаф** - это РЭС (или ЭС), представляющее собой совокупность входящих в него электронных устройств и устройств, без которых невозможна его эксплуатация, выполненное на основе **несущей конструкции третьего уровня**.

**Несущая конструкция** - это элемент или совокупность конструктивных элементов, предназначенных для размещения составных частей изделия, а также для обеспечения их конструктивной целостности и неизменности в соответствии с конструкторской документацией [40, 41].

- **Несущая конструкция первого уровня** – это несущая конструкция РЭС (или ЭС), предназначенная для размещения печатных плат, изделий электронной техники и электротехнических изделий. Примерами несущих конструкций первого уровня являются: ячейка, кассета и др.

- **Несущая конструкция второго уровня** – это несущая конструкция РЭС (или ЭС), предназначенная для размещения РЭС (или ЭС), выполненного на основе несущей конструкции первого уровня. Примерами несущих конструкций второго уровня являются: блок, вставной блок, блочный каркас и др.

- **Несущая конструкция третьего уровня** – это несущая конструкция РЭС (или ЭС), предназначенная для размещения РЭС (или ЭС), выполненного на основе несущей конструкции второго или первого уровня. Примерами несущих конструкций третьего уровня являются: шкаф, стойка, стеллаж, рама, пульт оператора, приборный стол и др. В отдельных случаях стойка или рама может быть установлена в шкаф.

**Блок** - это РЭС (ЭС), или радиоэлектронный (электронный) функциональный узел, выполненное (выполненный) **на основе несущей конструкции первого или второго уровня**. Согласно ГОСТ 2.701-84 **блоком** называют часть прибора, выполненную в виде отдельной законченной конструкции.

С точки зрения функционирования, **блок** – это часть ЭУ, выполняющая частную целевую функцию, функционально законченная, но автономно не эксплуатируемая; например, блок питания. **Блок** может быть конструктивно законченным, но может и входить как часть конструкции в устройство. **Субблок** - это часть блока, выполняющая функцию его отдельного тракта, например усилителя промежуточной частоты.

**Ячейка** – это радиоэлектронное (электронное) устройство или радиоэлектронный (электронный) функциональный узел, выполненное (выполненный) на основе несущей конструкции первого уровня.

**Модульное исполнение РЭС (или ЭС)** это метод создания РЭС (или ЭС) на основе электронных модулей.

**Электронный модуль (ЭМ)** это конструктивно и функционально законченное радиоэлектронное (электронное) устройство или радиоэлектронный (электронный) функциональный узел, выполненное (выполненный) в модульном или магистрально-модульном исполнении с обеспечением конструктивной, электрической, информационной совместимости и взаимозаменяемости.

**При модульном исполнении ЭС используют системы базовых несущих конструкций (БНК)**, находящихся в определенной соподчиненности на основе единого **размерного модуля** и оптимальной технологии производства. Они предназначены для создания оптимальных компоновок ЭС с учетом функциональных, механических, тепловых факторов, требований эргономики и ремонтно-пригодности [3]. **Размерный модуль** - это трехмерное компоновочное пространство, высота, ширина и длина которого кратны базовому шагу [40].

**Уровни разукрупнения РЭС (ЭС) в модульном исполнении по конструктивной сложности** могут быть представлены в виде следующей цепочки (сверху вниз):

**модули третьего уровня → модули второго уровня →  
→ модули первого уровня → модули нулевого уровня [22].**

- **Электронный модуль третьего уровня (ЭМ3)** - это электронный модуль, выполненный на основе базовой несущей конструкции третьего уровня радиоэлектронного средства.

- **Электронный модуль второго уровня (ЭМ2)** - это электронный модуль, выполненный на основе базовой несущей конструкции второго уровня радиоэлектронного средства.

- **Электронный модуль первого уровня (ЭМ1)** - это электронный модуль, выполненный на основе базовой несущей конструкции первого уровня радиоэлектронного средства.

- **Электронный модуль нулевого уровня (ЭМ0)** - это электронный выполненный на основе изделий электронной техники и электротехнических изделий, размерно координируемый с базовой несущей конструкцией первого уровня радиоэлектронного средства.

- Более подробно **системы базовых несущих конструкций (БНК)** рассмотрены нами в *разделе 8.2.*

Для конкретного ЭС некоторые из конструктивов могут отсутствовать. Каждый конструктив последующего уровня состоит из нескольких конструктивов предыдущего уровня, размещаемых в некоторой несущей конструкции (каркасе) и соединяемых между собой проводным монтажом, печатными соединениями, гибкими шлейфами, печатными объединительными платами и т.п. Стойки и шкафы обыкновенно объединяются кабельными соединениями [31].

Названия типовых составных частей ЭС зафиксировано стандартами. В соответствии с ГОСТ 2.701-84 для обозначения составных частей ЭС должны использоваться следующие термины:

– часть радиоэлектронного устройства, выполняющая определенную функцию и которую нельзя разделить на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение, называют **элементом**;

– совокупность элементов, представляющих единую конструкцию, называют **устройством**;

– совокупность элементов, не объединенных в единую конструкцию, но выполняющих совместно определенную функцию в изделии, называют **функциональной группой**;

– часть прибора, выполненную в виде отдельной законченной конструкции, называют **блоком**. Некоторые блоки (например, усилитель мощности, блок питания) имеют самостоятельное функциональное назначение, другие (например, блоки, объединяющие в своем составе элементы разных функциональных групп) могут его не иметь.

В конструкциях ЭС **I поколения** на электронных лампах, выпускаемых примерно до 1955 года, применялся блочный метод компоновки, который заключался в выполнении конструкций крупных частей схемы в виде моноблоков, чаще всего без кожухов, компонуемых в стойках и фермах и коммутируемых проволочно-жгутовым монтажом. Недостатками конструкций этого поколения были большие масса и габариты, малая унификация, неразвитая эксплуатационная взаимозаменяемость и низкая надежность. Значения величин плотности компоновки элементов в стойке (шкафу) в конструкциях ЭС I поколения находятся в пределах (0,01..0,05) элем./см<sup>3</sup>. При крупносерийном производстве перешли к расчленению всей конструкции на унифицированные функциональные узлы – УФУ, выполненные в виде плоски и объёмных модулей и микромодулей.

С появлением в 1954 г. **II поколения** конструкций ЭС на транзисторах стали изготавливать транзисторные УФУ. Вместо блочного метода компоновки перешли к функционально-узловому, а вместо **проволочно-жгутового** монтажа перешли к **печатному**. В это время возникло новое направление в конструировании ЭС - миниатюризация аппаратуры. Уменьшились размеры и массы ЭРЭ. Появились новые конструкции функциональных узлов: модули и микромодули с плотностью упаковки элементов в объеме до 1,5...2 элем./см<sup>3</sup>. В УФУ удалось унифицировать размеры микромодулей, приняв их размеры в двух измерениях постоянными. Модули различной сложности стали отличаться размерами только в третьем измерении. Однако сохранение за дискретными ЭРЭ главной роли основного конструктивного элемента с частотой отказов 10<sup>-6</sup> ч<sup>-1</sup> не смогло существенно увеличить надежность сложных ЭС. Ремонтпригодность стала меньше, чем у блоков I поколения, так как при выходе из строя одного элемента приходится заменять целый модуль. Значения величин плотности компоновки элементов в конструкциях ЭС II поколения находятся в пределах: в плоских модулях - (0,1.. 0,3) элем./см<sup>3</sup>; в объёмных модулях - (0,7..0,9) элем./см<sup>3</sup>; в микромодулях - (4..10) элем./см<sup>3</sup>; в блоке - (0,05..2,5) элем./см<sup>3</sup>; в стойке (шкафу) - (0,02.. 0,5) элем./см<sup>3</sup> [2, 3].

**Третье поколение** ЭС выпускается примерно с 1962 года и характеризуется (*рисунок 8.1*) применением корпусированных ИС первой и второй степени ин-



теграции (малых ИС - МИС) и миниатюрных ЭРЭ на двусторонних или на многослойных печатных платах с высокой разрешающей способностью - до 0,3 мм .

Степень интеграции ИС  $K$  характеризуется числом содержащихся в ней элементов и компонентов  $N$ :

$$K = \lg N. \quad (8.1)$$

Согласно формуле (2.1) в ИС первой и второй степени интеграции содержится от 10 до 100 элементов и компонентов. Конструкции, подобные изображённой на *рисунке 8.1*, наиболее характерные для цифровых устройств, получили название вначале **субблоков**, а позднее - **функциональных ячеек** и **функциональных модулей**. **Ячейки ЭВМ**, выполненные по принципу **базовых несущих конструкций (БНК)**, называют **типовыми элементами замены (ТЭЗ)**. К достоинствам таких конструкций относятся: легкосъёмность и ремонтпригодность, сравнительно легкий тепловой режим, нерастянутые сроки разработки и производства, невысокая стоимость изделий. Применение ИС позволяет резко повысить надёжность. Так, частота отказов одной ИС, содержащей порядка 100 элементов, примерно равна частоте отказов одного дискретного ЭРЭ ( $10^{-6}$  ч<sup>-1</sup>). Интегральные ЭС проектируются на новых принципах схемотехники-микросхемотехники, что наглядно видно из сравнения аналогов ЭС I, II и III, IV поколений (*таблица 8.1*). Однако применение корпусированных ИС приводит к значительной потере объёма ЭС. Увеличение плотности упаковки ограничивается шагом выводов ИС (2,5 мм) и шириной проводников и зазоров (0,15 мм). Значения величин плотности компоновки элементов в конструкциях ЭС III поколения находятся в пределах: в функциональных ячейках на гибридных ИС (30..40) элем./см<sup>3</sup>; в функциональных ячейках на полупроводниковых ИС (100..500) элем./см<sup>3</sup>; в блоке - (3,5..10) элем./см<sup>3</sup>; в стойке (шкафу) - (0,5..2) элем./см<sup>3</sup> [2, 3].

В ЭС **четвёртого поколения** для дальнейшего уменьшения массы и габаритов устройств отказались от индивидуальных корпусов ИС. В ЭС **четвёртого поколения** для компоновки ИС иногда используют многослойные и гибкие печатные платы, а иногда вместо печатных плат подложки. Иными словами, вместо того чтобы разваривать бескорпусные транзисторы на малых подложках и получать гибридную ИС, стали делать то же самое, но с бескорпусными ИС на более крупных подложках, т.е. получать БГИС, или микросборку -МСБ .

Таблица 8.2 - Сопоставление ЭС на дискретных ЭРЭ и интегральных ЭС [2]

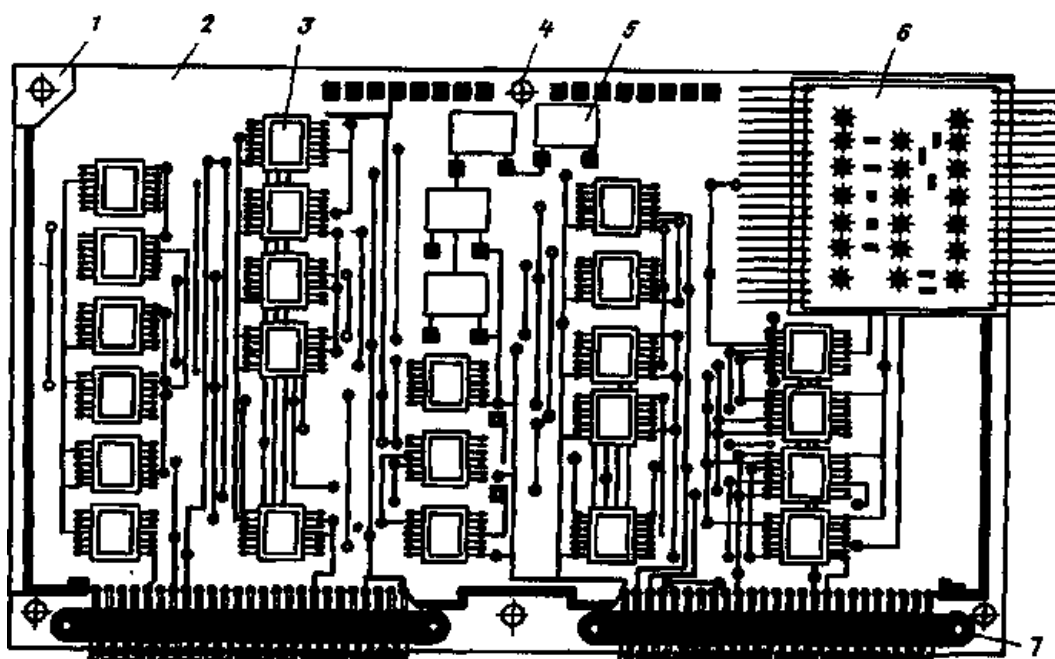


Рисунок 8.1 - Конструкция функциональной ячейки III поколения [2]: 1- металлическая накладка (коллектор тепловых стоков); 2 - печатная плата; 3 - корпусированная ИС; 4 - отверстие для стягивания пакета ячеек винтами; 5 - навесной конденсатор; 6 - толсто- пленочная МСБ, эквивалентная по сложности рассматриваемой ячейке (приведена для сравнения занимаемых площадей); 7 - соединитель

ЭС на дискретных ЭРЭ	Интегральные ЭС
Генераторы радио- и СВЧ-частот на ЭВП и дискретных полупроводниковых приборах	Генераторные и усилительные ИС радио- и СВЧ-частот со сложением мощности на общей нагрузке
Антенны СВЧ зеркального типа с сосредоточенным питанием	Антенные фазированные решетки (АФР) с распределенным питанием и сложением мощности в пространстве
Электромеханический привод антенны (механическое сканирование диаграммы направленности антенны)	ЭВМ управления фазой АФР (электронное сканирование диаграммы направленности антенны)
Усилители радиочастот с распределенной избирательностью	Усилители радиочастот на ИС с сосредоточенной избирательностью

ЭС на дискретных ЭРЭ	Интегральные ЭС
Частотно-избирательные узлы индуктивно-емкостного типа на дискретных катушках индуктивности и конденсаторах	Активные RC-фильтры, интегральные пьезо-фильтры, фильтры ПАВ, цифровые фильтры на БИС
Интеграторы аналогового типа	Цифровые накопители на БИС
Запоминающие устройства (ЗУ) на ферритовых кольцах и пластинах	Полупроводниковые ЗУ БИС, ЗУ на ЦМД, ПЗС на приборах Джозефсона
Аналоговые устройства автоматики	Цифровые устройства на БИС, СБИС, микро-процессорах
Электронно-лучевые трубки	Матричные экраны на ПЗС, светодиодах и электролюминесцентных пленках
Реле и трансформаторы электромагнитные	Реле и трансформаторы бесконтактные оптронные
Радиочастотные кабели	Световоды, волоконная оптика

В ЭС **четвёртого поколения** для дальнейшего уменьшения массы и габаритов устройств отказались от индивидуальных корпусов ИС. В ЭС **четвёртого поколения** для компоновки ИС иногда используют многослойные и гибкие печатные платы, а иногда вместо печатных плат подложки. Иными словами, вместо того чтобы разваривать бескорпусные транзисторы на малых подложках и получать гибридную ИС, стали делать то же самое, но с бескорпусными ИС на более крупных подложках, т.е. получать БГИС, или микросборку - МСБ .

МСБ по технологическому исполнению не отличаются от ГИС, а по функциональной сложности и степени интеграции соответствуют средним ИС (СИС) или ГИС. Однако, в отличие от ГИС, МСБ не выпускаются для широкого применения, а предназначены для частного применения. В состав МСБ могут входить одновременно и корпусированные и бескорпусные элементы - ЧИПы. МСБ заменила собой целую печатную плату (см. *рисунок 8.1*, верхний правый угол), и поскольку компоновка МСБ в ячейку и далее в блок тоже требовала компактности, сами МСБ стали бескорпусными, а блок - герметичным. Плотность компоновки в ЭС в блоках **четвёртого поколения** велика (больше чем  $100 \text{ элем./см}^3$  в блоках и больше чем  $1500 \text{ элем./см}^3$  в БИС запоминающих устройств), но ремонтпригодность мала, так как при выходе из строя одного элемента при ремонте приходится либо разгерметизировать весь блок, либо заменять его.

К недостаткам конструкций ЭС IV поколения относятся повышенная теплонапряженность в блоках и необходимость введения дополнительных теплоотводов (металлических рамок), незащищенность бескорпусных элементов и компонентов МСБ от факторов внешней среды и необходимость полной герметизации корпусов блоков с созданием инертной газовой среды внутри них, высокая стоимость, более длительные сроки разработки из-за необходимости разработки самих МСБ.

Фрагмент конструкции компьютерной функциональной ячейки IV поколения показан на *рисунке 8.2*.

Общие тенденции развития конструкций ЭС:

1) миниатюризация элементов и компонентов конструкций ЭС и повышение их надежности;

2) унификация и стандартизация функциональных узлов;

3) непрерывный рост интеграции конструкций и внедрение элементов и узлов функциональной электроники;

4) внедрение автоматизации разработок конструкций РЭС и автоматизированных способов их изготовления. Появление новой элементной базы (приборов функциональной микроэлектроники, сверхбольших ИС, микрокорпусов ИС), новых несущих оснований (печатных плат из материалов с разрешающей способностью до 0,1 мм и без металлизированных отверстий), новых способов сборки и монтажа (групповой автоматизированной сборки и пайки), новых принципов компоновки устройств из суперкомпонентов (интеграции на целой пластине - ИЦП) привело к созданию еще более компактных и надежных ЭС.

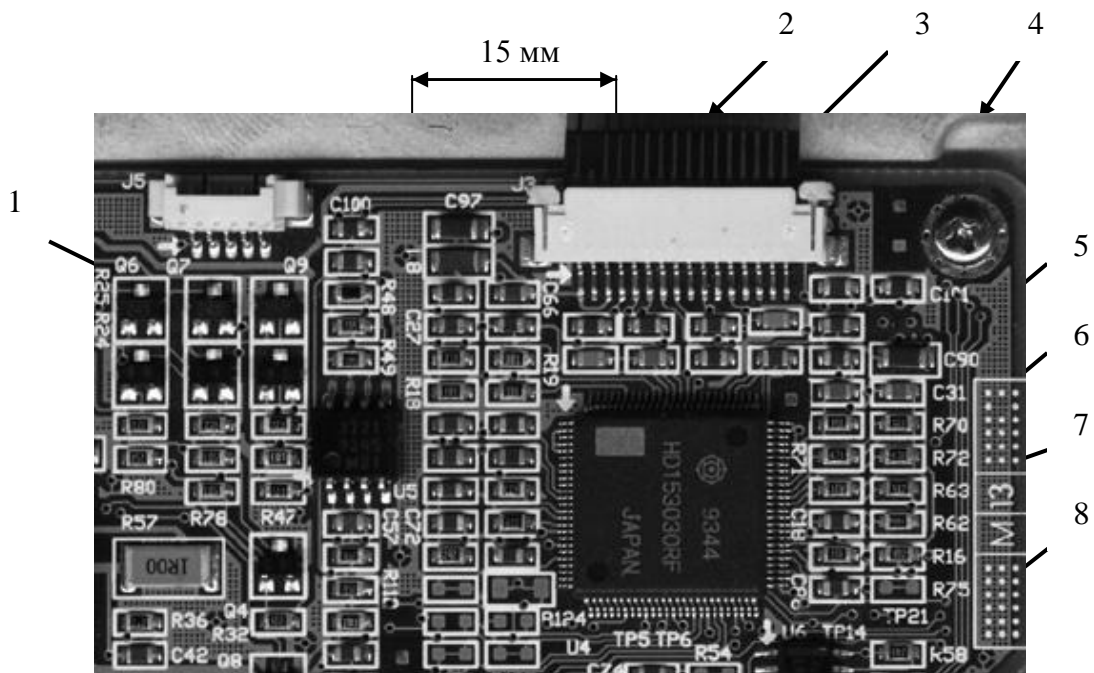


Рисунок 8.2 - Фрагмент конструкции компьютерной функциональной ячейки IV поколения (производства японской фирмы *Quantum*), выполненной по принципам монтажа на поверхность. Элементы, предназначенные для технологии монтажа на поверхность (ТМП-элементы): 1 - ТМП-транзистор; 2 - печатный гибкий кабель; 3 - ТМП-разъем; 4 - фрагмент металлической рамки для крепления печатной платы; 5 - ЧИП-конденсатор; 6 - ЧИП-резистор; 7 - микропроцессорная микросборка; 8 - печатная плата

Конструкции таких устройств, выполненные по принципам монтажа на поверхность и интеграции на целой пластине, можно отнести к **V поколению** [2, 3].

Иногда конструкции ЭС одновременно имеют признаки разных поколений. Например, в конструкции ячейки IV поколения, показанной на *рисунке 8.2*, её исполнение по принципам монтажа на поверхность, можно отнести к признакам конструкции V поколения.

## 8.2 Основы стандартизации. Унификация конструкций изделий

**Стандартизация**<sup>1</sup> - это образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других подобных объектов. **Стандартизация** является одним из важнейших методов ограничения разнообразия и регламентирования единства в различных областях науки и техники), в том числе и при проектировании ЭС.

Согласно определению международной организации по стандартизации ИСО, стандартизация - это деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядоченности в определённой области посредством установления положений для всеобщего и многократного применения в отношении реально существующих или потенциальных задач.

В 1967 году для осуществления работ по стандартизации в стране была создана Государственная система стандартов (Госстандарт). В 1992 году Госстандарт преобразован в Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России), который определил в ГОСТ Р1.0-92 цели стандартизации и ответственность за несоблюдение стандартов. **Федеральный закон о техническом регулировании № 184-З.- М.: 2002**, отменивший ГОСТ Р1.0-92 в связи с развитием в России рыночных отношений, утверждает, что стандартизация осуществляется в целях [39]:

- **повышения уровня безопасности жизни граждан, безопасности объектов, экологической безопасности и содействия соблюдению требований технических регламентов;**
- **обеспечения научно-технического прогресса и повышения конкурентоспособности** продукции, работ и услуг;
- **рационального использования ресурсов;**
- **технической и информационной совместимости;**
- **сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных;**
- **взаимозаменяемости** продукции.

Стандартизация также позволяет [38]:

- **сократить время проектирования изделий и внедрения их в производство и в эксплуатацию;**
- **улучшить экономические показатели производства, в частности, снизить стоимость продукции;**

---

<sup>1</sup> от английского *standart* - норма, образец

- устранить технические **барьеры в производстве и торговле и обеспечить** эффективное участие государства и частных предпринимателей в межгосударственном и международном разделении труда; сюда входят специализация и кооперация в масштабах предприятия, отрасли, государства и между различными государствами;

- повысить степень соответствия продукции, процессов и услуг их функциональному назначению;

- **защитить интересы потребителей** и государства в вопросах номенклатуры и качества продукции услуг и процессов;

- повысить **качество продукции** в соответствии с развитием науки и техники, с потребностями населения и народного хозяйства.

По Федеральному закону стандартизация осуществляется в соответствии с принципами:

- **добровольного применения стандартов** (в отличие от ранее действующих в России предписаний, в которых была предусмотрена и уголовная ответственность за выпуск продукции, не соответствующей стандартам);

- максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;

- **применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта.** Последнее положение применимо, за исключением случаев, когда такое применение признано невозможным вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям Российской Федерации, техническим и (или) технологическим особенностям или по иным основаниям, либо Российская Федерация в соответствии с установленными процедурами выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;

- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей, указанных в Федеральном законе;

- недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам;

- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

К документам в области стандартизации, используемым на территории Российской Федерации, относятся:

- **национальные стандарты;**

- **правила стандартизации, нормы и рекомендации** в области стандартизации;

- применяемые в установленном порядке классификации, **общероссийские классификаторы** технико-экономической и социальной информации;

- **стандарты организаций.**

**Объектом стандартизации** является предмет (продукция, процесс, услуга), подлежащий или подвергшийся стандартизации. **Нормативное обеспечение**

технической политики в области **стандартизации основывается на законодательных актах, стандартах, технических условиях.**

**Стандарт** - нормативный документ по стандартизации, разработанный, как правило, на основе согласия большинства заинтересованных сторон и утверждённый признанным органом или предприятием, в котором могут устанавливаться для всеобщего пользования правила, общие принципы, характеристики, требования или методы, касающиеся определённых объектов стандартизации, и который направлен на постижение оптимальной степени упорядочения в определённой области

Устанавливаются следующие виды нормативных документов:

- **национальный стандарт** - стандарт, принятый органом по стандартизации одной страны, например **государственный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р)**, утвержденный Госстандартом России;

- **отраслевой<sup>2</sup> стандарт (ОСТ)** - стандарт, утверждённый министерством (ведомством) Российской Федерации;

- **стандарт предприятия (СТП)** - стандарт, утвержденный предприятием и применяемый только на данном предприятии;

- **технические условия (ТУ)** - нормативный документ на конкретную продукцию (услугу), утверждённый предприятием - разработчиком, как правило, по согласованию с предприятием - заказчиком (потребителем). При разработке на продукцию комплекта технической документации ТУ являются неотъемлемой частью этого комплекта;

- **международный стандарт** - стандарт, принятый международной организацией по стандартизации;

- **региональный стандарт** - стандарт принятый региональной международной организацией по стандартизации;

- **межгосударственный стандарт (ГОСТ)** - региональный стандарт, принятый государствами, присоединившимися к соглашению о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации;

- **комплект стандартов** - совокупность взаимосвязанных стандартов, объединённых общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам стандартизации.

В технической документации используется 27 систем государственных стандартов, но наиболее часто при проектировании ЭС применяют стандарты систем: ГОСТ 2. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) и ГОСТ 3. Единая система технологической документации (ЕСТД). Правила разработки и оформления конструкторской документации РЭС с учётом стандартов подробно описаны в [11].

Если изделие, например функциональное устройство (ФУ), применяют по ГОСТ, РСТ, ОСТ или СТП, то такое изделие считается стандартным. Прочи-

---

<sup>2</sup> **отрасль** - совокупность предприятий, независимо от территориального расположения разрабатывавших и изготавливавших определенные виды продукции, закрепленной за данным министерством или его главным управлением, а также находящихся в частной собственности

ми (нестандартными) считаются изделия, применяемые по техническим условиям.

Исходя из определения стандартизации, к методам стандартизации и радиотехнической промышленности следует отнести не только непосредственное использование различных стандартов, но и конструктивную преемственность, отраслевую стандартизацию, повторяемость, а также типизацию, в которую органически входят унификация, секционирование и агрегатирование.

**Конструктивная преемственность** - это требование, предусматривающее целесообразное использование во вновь разработанном изделии выпускающихся или выпускавшихся ранее ФУ, деталей и узлов [38]. К примеру, у большинства телевизоров и компьютеров сходная элементная база, а также конструктивная и схемотехническая основа.

**Отраслевая стандартизация** - это рациональное ограничение в пределах данного предприятия или отрасли промышленности типов и номиналов РК, типоразмеров конструкций, материалов, полуфабрикатов, режущего и измерительного инструмента и других норм. Документами, регламентирующими эти ограничения в указанных пределах, являются **ОСТы и СТП**. Требования отраслевой стандартизации наиболее широко применяется к ФУ, платам, монтажным лепесткам и т.д.

**Повторяемость** - требование использования в изделии по возможности большего количества одинаковых ФУ, элементов конструкции и крепежа. Это облегчает работу отделов комплектации, сборку и ремонт изделия.

**Типизация** - метод стандартизации, заключающийся в применении при проектировании ФУ и ЭС типовых конструктивных, технологических, организационных и других решений.

Высшей формой типизации является унификация. **Унификация** - это выбор оптимального числа разновидностей продукции, процессов и услуг, значений их параметров и размеров. Наиболее часто унификация используется для объектов одинакового функционального назначения [38, 40 - 47]. Под унификацией печатных узлов, несущих конструкций ЭС, ФУ и ЭРЭ понимается приведение их различных видов к рациональному минимуму типоразмеров, марок, форм, свойств и т.п. Степень унификации при разработке оценивают коэффициентом унификации  $K_y$ , который представляет отношение количества унифицированных деталей  $N_y$  к общему числу деталей в изделии  $N$  ( $K_y = N_y / N$ ). Подробно вопросы унификации несущих конструкций рассмотрены в разделе 2.3.

**Агрегатирование** - метод стандартизации, направленный на создание изделий путем их сборки из ограниченного количества стандартных или унифицированных деталей, ФУ, агрегатов. Эти унифицированные детали, ФУ и агрегаты могут быть использованы при создании различных модификаций ЭС и должны обладать взаимозаменяемостью.

**Секционирование** - предполагает деление ФУ и ЭС на секции с унифицированными размерами.

Конечно, любые ограничения приводят к уменьшению степени свободы разработчиков, конструкторов. Однако рациональное ограничение не ухудшает



качество разрабатываемого изделия, а, повышая степень унификации, уменьшает номенклатуру используемых материалов, комплектующих и, тем самым, повышает эффективность производства.

## **8.2 Конструкционные системы ЭС. Системы базовых несущих конструкций. Системы унифицированных типовых конструкций**

**Несущие конструкции** предназначены для размещения компонентов ЭС и обеспечения их функционирования в реальных условиях эксплуатации. Их использование позволяет улучшить компоновку, теплоотвод, экранирование и заземление, а также повысить надежность и технологичность составных частей и изделия в целом.

**Базовые несущие конструкции (БНК)** применяют в РЭС, построенных по модульному принципу. БНК предназначены для обеспечения:

- конструктивной совместимости;
- размерной взаимозаменяемости по габаритам и монтажным размерам (фиксирующие отверстия, контуры и т. д.) электронных модулей;
- рационального использования площади и объема носителей;
- технологичности конструкций [42].

Кроме того, использование БНК позволяет улучшить ремонтпригодность ЭС.

**Иерархические совокупности базовых несущих конструкций**, находящихся в определенной соподчиненности на основе размерной совместимости отдельных конструктивных элементов за счёт использования единого модуля и единой технологии производства образуют **конструкционные системы ЭС (КС)** [3, 7].

Кроме систем **БНК РЭС** [41, 42], существуют и другие **конструкционные системы ЭС**, предназначенные для других видов аппаратуры:

- **система унифицированных типовых конструкций (УТК)** государственной системы приборов (ГСП) и средств автоматизации [43],
- **БНК ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ** [44],
- стойки аппаратуры систем передачи информации по проводным линиям связи,
- конструкционная система телевизионной студийной аппаратуры,
- шкафы и корпуса блоков электронных измерительных приборов,
- блочные унифицированные конструкции на основе плат в дюймовой системе,
- конструкционная система самолетной аппаратуры,
- **БНК судовой аппаратуры** и т.д. [3, 40].

Все эти конструкционные системы до принятия ГОСТ 26632—85 (Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств по функционально-конструктивной сложности. Термины и определения) и ГОСТ Р 52003-2003 (Уровни разукрупне-

ния радиоэлектронных средств. Термины и определения) [22] имели разное число и название уровней разукрупнения из числа (ряда):

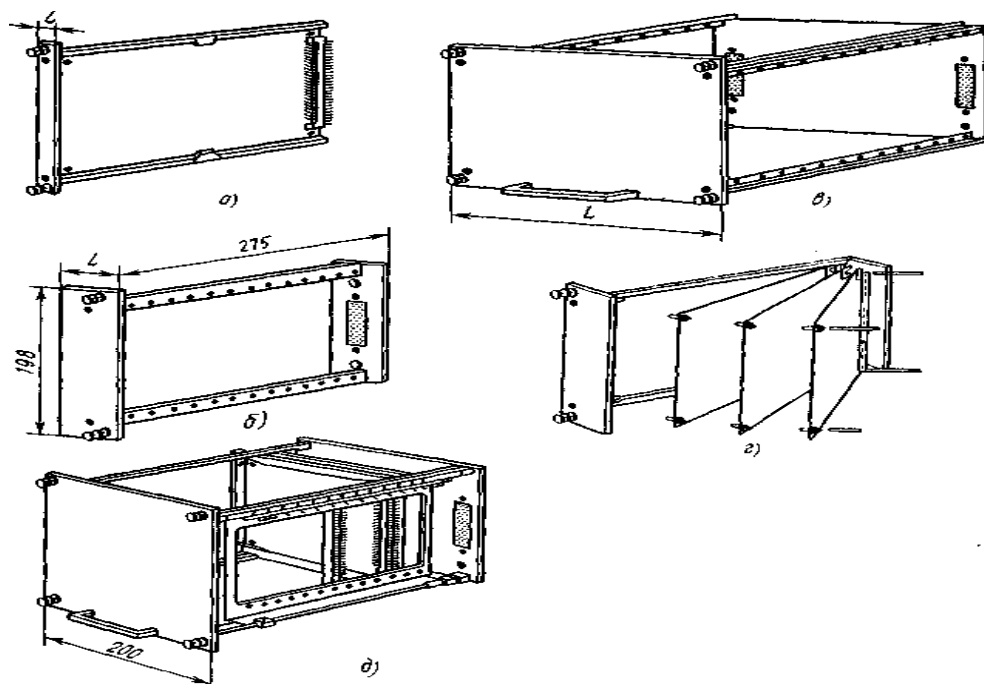
- элемент (ЭРЭ, ИС, соединитель и т.д.),
- плата (ячейка, корпус частичный, типовой элемент замены),
- блок (кассета, каркас, кожух, корпус комплектный, панель, крейт),
- шкаф (стойка, тумба, пульт, стол, блок комплексный) [3, 44].

Старые названия остались в технической литературе прежних выпусков:

- **корпус частичный** - базовая конструкция (*рисунок 8.3*) с несущими элементами в виде платы и передней панели или стержней, соединяющих переднюю и заднюю панели, предназначенная для размещения компонентов, плат и других изделий;

- **корпус комплектный** - базовая конструкция (*рисунок 8.4*) с несущими элементами в виде боковых стенок или стержней, соединяющих переднюю и заднюю балки и рамки, предназначенная для размещения плат, частичных корпусов и других изделий;

- **корпус комплексный** (*рисунок 8.5*) - базовая конструкция, предназначенная, в основном, для размещения комплектных корпусов в соответствии с техническими требованиями с несущими элементами в виде боковых стенок, соединенных крышками, предназначенная для компоновки плат, ячеек, частичных и комплектных корпусов.



<i>L</i>	20	40	60	80	100	120	160	200	320	400
----------	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Рисунок 8.3 - Схема конструкций частичных корпусов комплекса универсальных типовых конструкций УТК [3, 5]: *а* - для размещения одной платы; *б, в* - для крупногабаритных ЭРЭ и источников питания; *г* - для «книжной компоновки»; *д* - для «разъёмной» компоновки (платы вставляются сбоку)

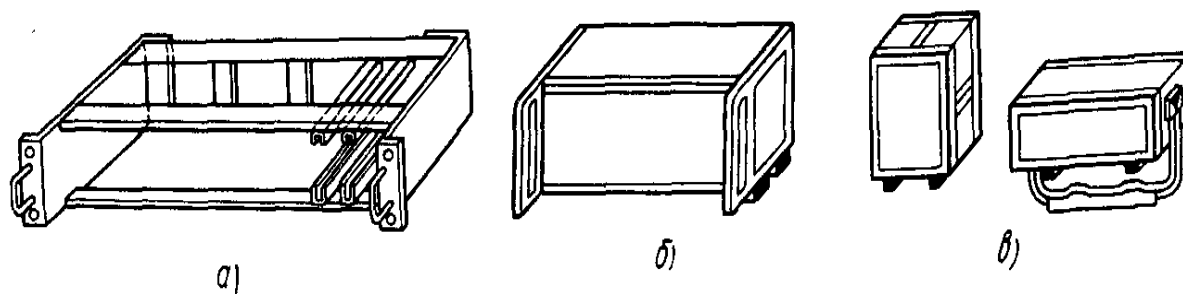


Рисунок 2.4 - Схема конструкций комплектных корпусов [3]: *а* - блочный (комплектный); *б* - настольного комплектного блока; *в* - корпуса малогабаритных комплектных блоков для измерительных приборов

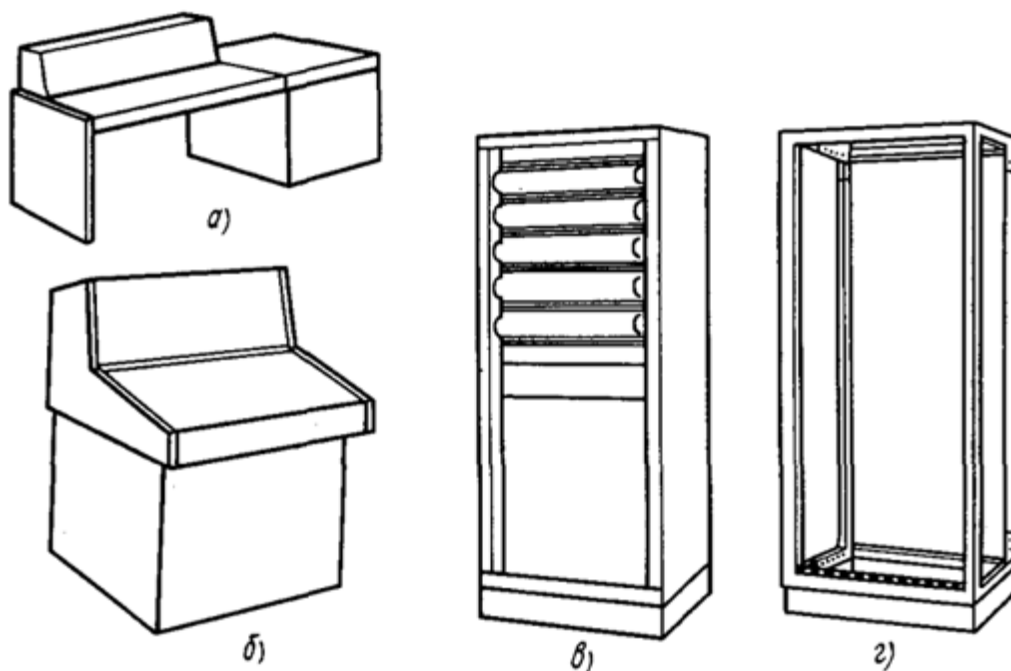


Рисунок 8.5 - Корпуса комплексных блоков (элементы типовых конструкций Ursamat) [3, 5]: а - пульт для работы сидя; б - пульт для работы стоя; в, г - закрытая и открытая стойки

**Конструкционные системы РЭС (ЭС)** и уровни их разукрупнения характеризуются: размерами на основе единого модуля - 2,5 мм при использовании метрической системы мер и 2,54 мм для дюймовой системы; допустимой рассеиваемой мощностью, габаритами, массой, механической прочностью, защищенностью от климатических воздействий, конструкцией электрических соединений, наличием или отсутствием магистральности, соответствием международным стандартам, стоимостью. Параметры конструкционных систем приведены в стандартах [3, 42 - 47].

Параметры конструкционных систем РЭС (ЭС) в значительной степени определяются типом и параметрами элементов (ИС, ЭРЭ), используемых в модулях нулевого уровня (РЭМ 0). Поэтому другим важным объектом стандартизации является конструкция корпусов ИС и ЭРЭ (см. *раздел 8.1*).

Система построения и входимости БНК по ГОСТ 26632 предусматривает три уровня разукрупнения: БНК, БНК2 и БНК3 (*рисунок 2.6*).

**Схема построения РЭС (ЭС)** может быть двух видов:

- **двухуровневая** (ячейка - шкаф);
- **трехуровневая** (ячейка - блок - шкаф; ячейка - контейнер - рама и т.д.).

**БНК первого уровня (БНК1)** предназначены для создания электронных модулей первого уровня (ЭМ1) цифровых и аналоговых РЭС (ЭС), модулей от НЧ до СВЧ диапазона, а также модулей системы вторичного электропитания и управления. Допускается установка электрических соединителей на передних панелях БНК1. Для модулей СВЧ диапазона возможно применение волоконно-оптического соединителя.

БНК1 может быть каркасного и бескаркасного типа. БНК1 может иметь защитный экран, радиатор и может быть выполнена в герметичном исполнении.

**БНК1** (рисунок 8.6, 1 и 2) устанавливают в конструкции более высокого уровня разукрупнения по направляющим: в корпус вставного блока (рисунок 8.6, 5 и 6) - параллельно лицевой панели или параллельно боковым стенкам, в

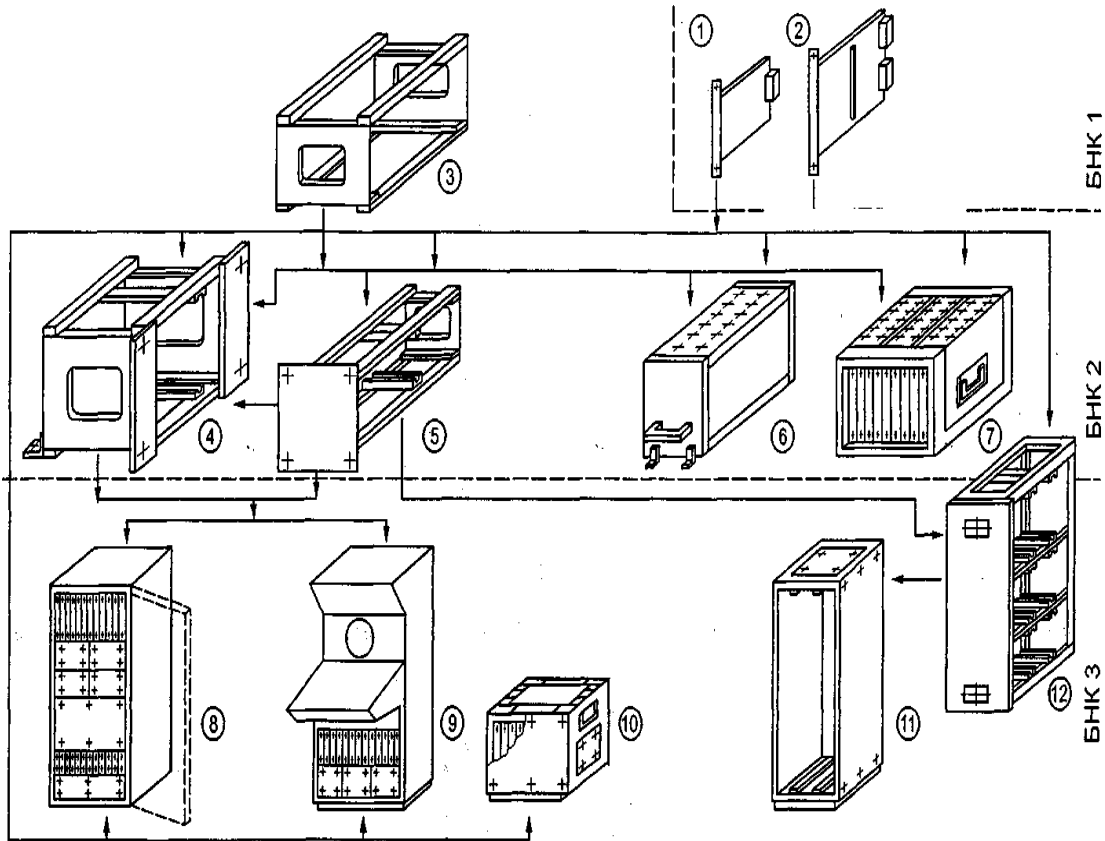


Рисунок 8.6 - Система построения и входимости БНК РЭС [42]: 1, 2 - ячейки; 3 - корпус блока; 4 - блочный каркас; 5 - корпус вставного блока; 6 - корпус блока (авиационного); 7 - корпус контейнера (авиационного); 8 - корпус шкафа; 9 - корпус пульта; 10 - корпус моноблока; 11 - корпус шкафа для выдвижной стойки; 12 - выдвижная стойка

блочный каркас (рисунок 8.6, 4) или в корпус шкафа - параллельно боковым стенкам.

**Координационные размеры** БНК1 определяются размером печатной платы (ПП). По модульному принципу размеры БНК1 могут превышать размеры ПП на значение, кратное 2,5 мм.

**БНК второго уровня (БНК2)** предназначены для создания электронных модулей второго уровня (ЭМ2). Конструктивной основой БНК2 является сборочная единица, состоящая из боковых рам, соединенных профилями и стяжками, или монолитных конструкций. **Блочный каркас** (рисунок 8.6, 4) служит для размещения в нем БНК1 (рисунок 8.6, 1 и 2) или корпусов вставных блоков (рисунок 8.6, 5 и 6) и является промежуточным конструктивным элементом между этими конструктивами и БНК3. Особенностью блочного каркаса является наличие **боковых монтажных фланцев** для крепления его в БНК3 с помощью винтов на лицевых сторонах вертикальных профилей либо посредством допол-

нительной крепежной арматуры. По ширине блочный каркас занимает весь проём БНКЗ и может быть разделён перегородками на отсеки. В отсеки устанавливают корпуса **вставных блоков**, ширина которых меньше проема БНКЗ или БНК1 (в один или два ряда по высоте).

Корпус вставного блока (рисунки 8.6, 5 и 6) служит для размещения БНК1 в один или два ряда по высоте. Характерной особенностью корпуса вставного блока является наличие передней (лицевой) и задней панелей, а также фиксирующих элементов (кодовых штырей, ловителей и т.п.). Передняя панель служит для размещения элементов индикации и управления, элементов электрических соединений и т.п. В зависимости от условий эксплуатации элементы крепления могут быть винтовыми либо в виде замков. Задняя панель служит для размещения элементов электрических соединений. Корпус вставного блока устанавливают по направляющим в блочный каркас или в БНКЗ.

Настольные переносные и авиационные бортовые блоки создают путем размещения конструктивной основы БНК2 в корпусе или кожухи.

**Корпус блока бортовых авиационных РЭС** (рисунки 8.6, 6) состоит из сборных или монолитных конструкций и предназначен для размещения ячеек, ЭРЭ и деталей. Корпус блока имеет кожух или входит в состав более крупных РЭС, имеющих конструктивную или иную защиту от внешних воздействий.

Основой электрических соединений ЭМ1 в БНК2 являются соединительные ПП, в том числе многослойные, и кабельные соединения, а также другие соединительные устройства на базе новых технологий. Вывод внешних соединительных электрических связей из БНК2 определяется ее компоновкой в БНКЗ и представляет возможность применения врубного, накидного и петлевого электромонтажа.

При агрегатировании БНК2 в составе РЭС электрические соединения между ними осуществляются преимущественно плоскими кабелями. Координационные размеры БНК2 определяются размерами БНК1 и БНКЗ.

**БНК третьего уровня (БНКЗ)** предназначены для создания электронных модулей третьего уровня (ЭМЗ). Их конструктивную основу составляют вертикальные и горизонтальные профили, а также допускается использовать межэтажные перегородки и рамы с направляющими для установки БНК1 и БНК2. К БНКЗ относят **стойки, корпуса шкафов, пультов, моноблоков, стеллажи, тумбы, секции, приборные столы и монтажные рамы** (рисунки 8.6, 8, 9, 10, 11, 12).

**Стойка** (рисунки 8.6, 12) представляет собой конструкцию на основе вертикальных профилей с элементами межэтажного разделения (рамы, профили, уголки направляющие и т.п.), а также с боковыми стенками, в некоторых случаях - и задней. БНК1 и корпуса вставных блоков крепят через лицевые панели к элементам межэтажных перекрытий стойки.

**Корпус шкафа** (рисунки 8.6, 8) отличается от стойки наличием передней, а в некоторых случаях - и задней двери с уплотняющими прокладками. В случае применения принудительного охлаждения используют теплообменники.

**Корпус пульта** (рисунок 8.6, 9) характеризуется наличием вертикальных, горизонтальных и наклонных панелей, а также специальных элементов крепления для размещения элементов индикации, контроля, управления и отображения информации.

**Стеллаж** представляет собой стойку (рисунок 8.6, 12), но без задней и боковых стенок, имеющую сплошные горизонтальные перегородки для установки блоков в настольном и переносном исполнении.

**Тумба** является фрагментом стойки (рисунок 8.6, 12), на верхней плоскости которой может быть расположено переносное оборудование.

**Приборные столы** состоят из одной или нескольких тумб, соединенных со столешницей.

**Электрические соединения** между модулями третьего уровня ЭМЗ осуществляют, как правило, с помощью плоских кабелей.

Наружные координационные размеры БНКЗ определяются параметрами носителя. Для удобства перемещения БНКЗ могут быть снабжены колесами.

**Система построения БНК** основывается на унификации координационных, установочных и присоединительных размеров, при этом определяющим фактором является выбор модульной сетки и размерных модулей для БНК. Координационные размеры БНК по высоте  $H$ , ширине  $B$  и длине (глубине проема для установки)  $L$  соответствует **однородной метрической трехмерной модульной сетке**.

Таблица 8.3 - Координационные размеры БНК1 (размеры в миллиметрах) [42]

$H$	50; 75; 100; 115; 170; 265; 365; 415
$B$	12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100
$L$	175; 225; 250; 300

**Примечание.** Координационные размеры БНК1 с учетом обрамления могут превышать размеры печатной платы на значение, кратное 2,5 мм.

В качестве базовых приняты размерные модули: 2,5 мм (для координационных размеров БНК1 и присоединительных размеров БНК всех уровней) и 25,0 мм (для координационных размеров БНК2 и БНК3). Это создает оптимальные условия для применения автоматизированных методов на всех стадиях конструирования и производства ЭС. Все координационные размеры БНК кратны размерным модулям. Точки крепления элементов БНК, а также их установочные и присоединительные размеры должны находиться в узлах координационной сетки соответствующего размерного модуля.

Значения координационных размеров  $H$ ,  $B$  и  $L$  БНК1 (рисунок 8.7) приведены в таблице 8.2. Под высотой понимают сторону ячейки, на которой установлен электрический соединитель.

Координационные размеры БНК2 и БНК3 бортовых авиационных РЭС обозначены на *рисунке 8.8*. Наружные координационные размеры БНК2 бортовых авиационных РЭС соответствуют размерам корпусов типа *K* по нормативному документу, утвержденному в установленном порядке, и обеспечивают возможность установки в них БНК1 с размерами, приведенными в *таблице 8.4*.

Таблица 8.4 - Координационные размеры БНК2 бортовых авиационных РЭС (размеры в миллиметрах) [42]

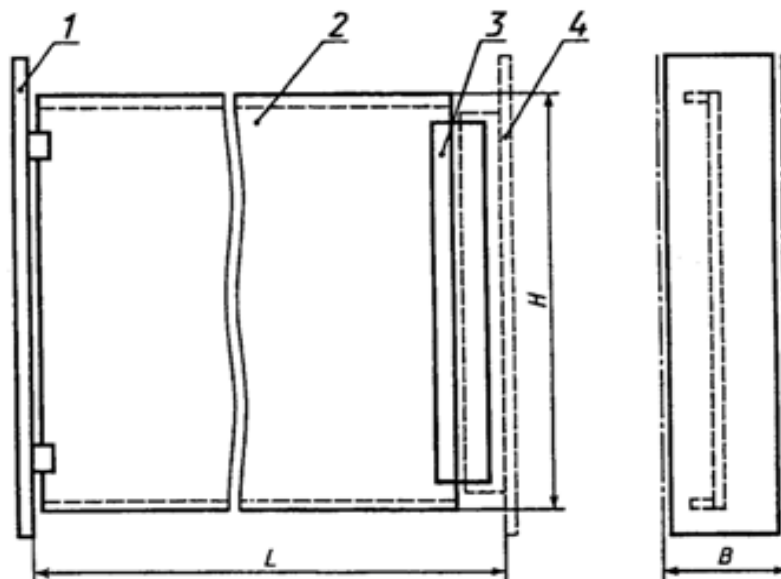


Рисунок 8.7 - Координационные размеры БНК1 (ячейка): 1 - лицевая панель; 2 - печатная плата; 3 - электрический соединитель; 4 - объединительная печатная плата

Условное обозначение блока	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>B ±0,5</i>	Условное обозначение блока	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>B ±0,5</i>
0,5 К	318 (385)	194	25,4	3,5 К	318 (385)	194	223,3
1,0 К			57,2	4,0 К			256,3
1,5 К			90,4	4,5 К			289,3
2,0 К			124,0	5,0 К			322,3
2,5 К			157,2	5,5 К			355,3
3,0 К			190,5	6,0 К			388,4

**Примечание.** Размер, указанный в скобках, учитывает наличие допускаемых выступов со стороны передней панели.

Координационные размеры БНК2 обозначены на *рисунке 8.8, а* и приведены в *таблице 8.3*, а координационные размеры БНК3 бортовых авиационных РЭС обозначены на *рисунке 8.8, б* и приведены в *таблице 8.4*.

Таблица 8.5 - Координационные размеры БНК3 бортовых авиационных РЭС (размеры в миллиметрах) [42]



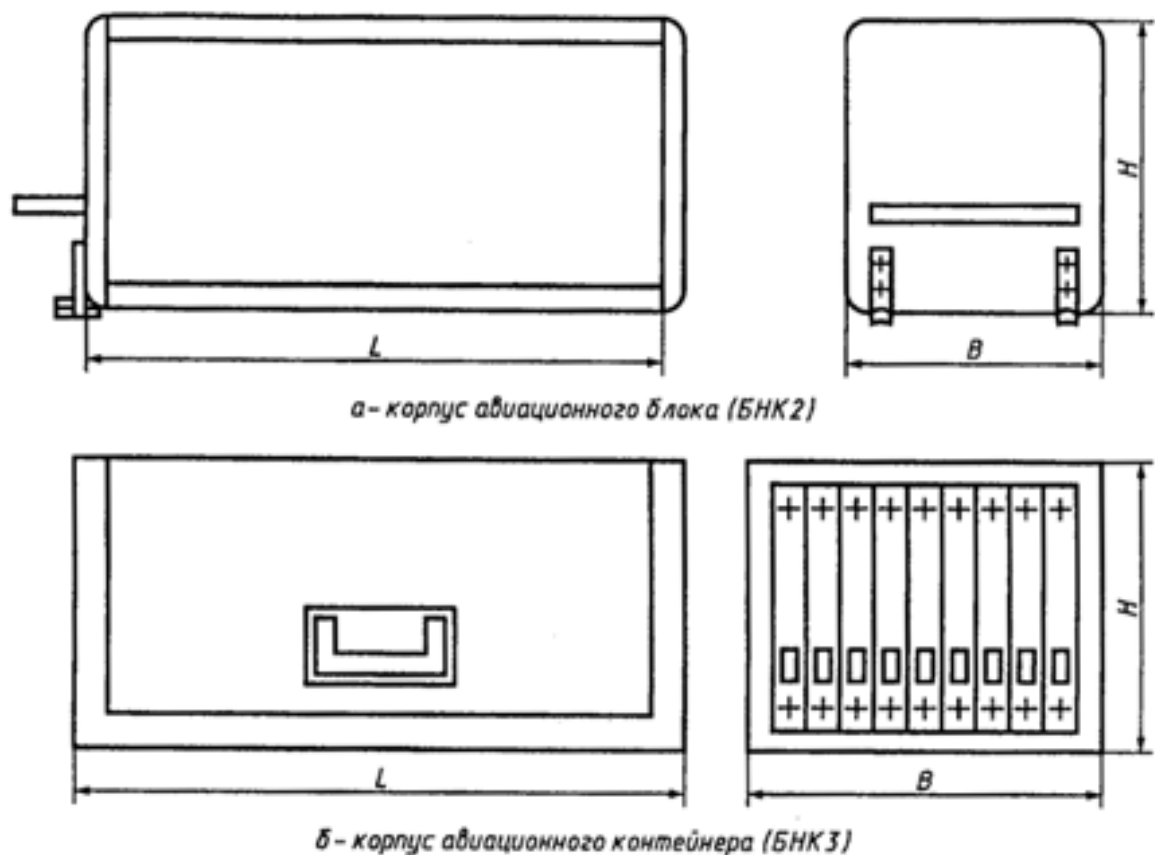


Рисунок 8.8 - Координационные размеры БНК2 и БНК3 бортовых авиационных РЭС

Условное обозначение блока	$L$	$H$	$B \pm 0,5$	Условное обозначение блока	$L$	$H$	$B \pm 0,5$
3,0 К	410	196	190,5	7,0 К	410	196	454,4
3,5 К			223,3	7,5 К			487,4
4,0 К			256,3	8,0 К			520,4
4,5 К			289,3	8,5 К			553,5
5,0 К			322,3	9,0 К			586,5
5,5 К			355,3	9,5 К			619,5
6,0 К			388,4	10 К			652,5
6,5 К			421,4				

**Примечание.** Координационные размеры других типов БНК2 и БНК3 приведены в стандарте [42]

**В единой системе электронных вычислительных машин** используют совсем другие конструкции базовых технических средств. Полный комплект конструктивных уровней в этом случае содержит не три, а пять уровней конструктивных модулей [7 и 44]. В настоящее время конструкции единой системы электронных вычислительных машин практически не применяют.

До создания системы **БНК РЭС** при конструировании использовали комплекс **унифицированных типовых конструкций (УТК)** РЭА (радиоэлектронная аппаратура РЭА - это старое название радиоэлектронных средств РЭС), совместимую с автоматизированными методами проектирования и изготовления

РЭА. **Комплекс УТК** в зависимости от условий эксплуатации и конструктивно-технологических особенностей РЭА, в которой применяются эти конструкции, **можно подразделить** на следующие три класса: Комплекс УТК в зависимости от условий эксплуатации и конструктивно-технологических особенностей РЭА, в которой применяются эти конструкции, можно подразделить на следующие три класса:

- **УТК-I** - стационарная РЭА, предназначенная для работы в отапливаемых и неотапливаемых помещениях (категории 3 и 4 по ГОСТ 15150—69);
- **УТК-II** - стационарная, полустационарная и подвижная РЭА, работающая на открытом воздухе. во временных помещениях и укрытиях, палатках, на колесном и гусеничном транспорте (категории 1 и 2 по ГОСТ 15150—69 и 4 и 6 по ГОСТ 16019—78);
- **УТК-III** - РЭА на ИС и МС, устанавливаемая на подвижных объектах в труднодоступных местах и работающая на ходу в жестких условиях эксплуатации.

**Комплекс УТК** построен по иерархическому принципу и включает компоненты пяти конструктивных уровней [5, 43]:

- **КУ-0:** бескорпусные активные и пассивные микроэлементы в виде полупроводниковых транзисторов, диодов, диодных матриц, интегральных схем различной степени интеграции, пленочных резисторов и конденсаторов;
- **КУ-1:** корпусные резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы, ИС широкого применения, реле, элементы сигнализации и индикации, гибридные ИС частного применения, МУ средней и большой степени интеграции;
- **КУ-2:** унифицированные печатные платы для РЭА, разрабатываемой на базе УТК-I, и УТК-II;
- **КУ-3:** частичные вставные блоки, комплектные блоки, блочные каркасы для РЭА, разрабатываемой на базе УТК-I и УТК-II, и несущие конструкции малогабаритных блоков для РЭА, разрабатываемой на базе УТК-III;
- **КУ-4:** несущие конструкции стоек, шкафов, пультов управления, распределительных щитов, приборных корпусов для РЭА, разрабатываемой на базе УТК-I и УТК-II, и несущие конструкции агрегатированных систем и подсистем малогабаритной и микроминиатюрной РЭА, разрабатываемой на базе УТК-III.

Компоненты высших КУ включают в себя сочетания компонентов низших КУ. Границы раздела между КУ - КС01; КС12; КС23; КС34 являются «конструктивными сечениями», по которым обеспечивается электрическая и механическая стыковка компонентов смежных КУ.

Классы УТК-I и УТК-II имеют единую номенклатуру и общее кон-

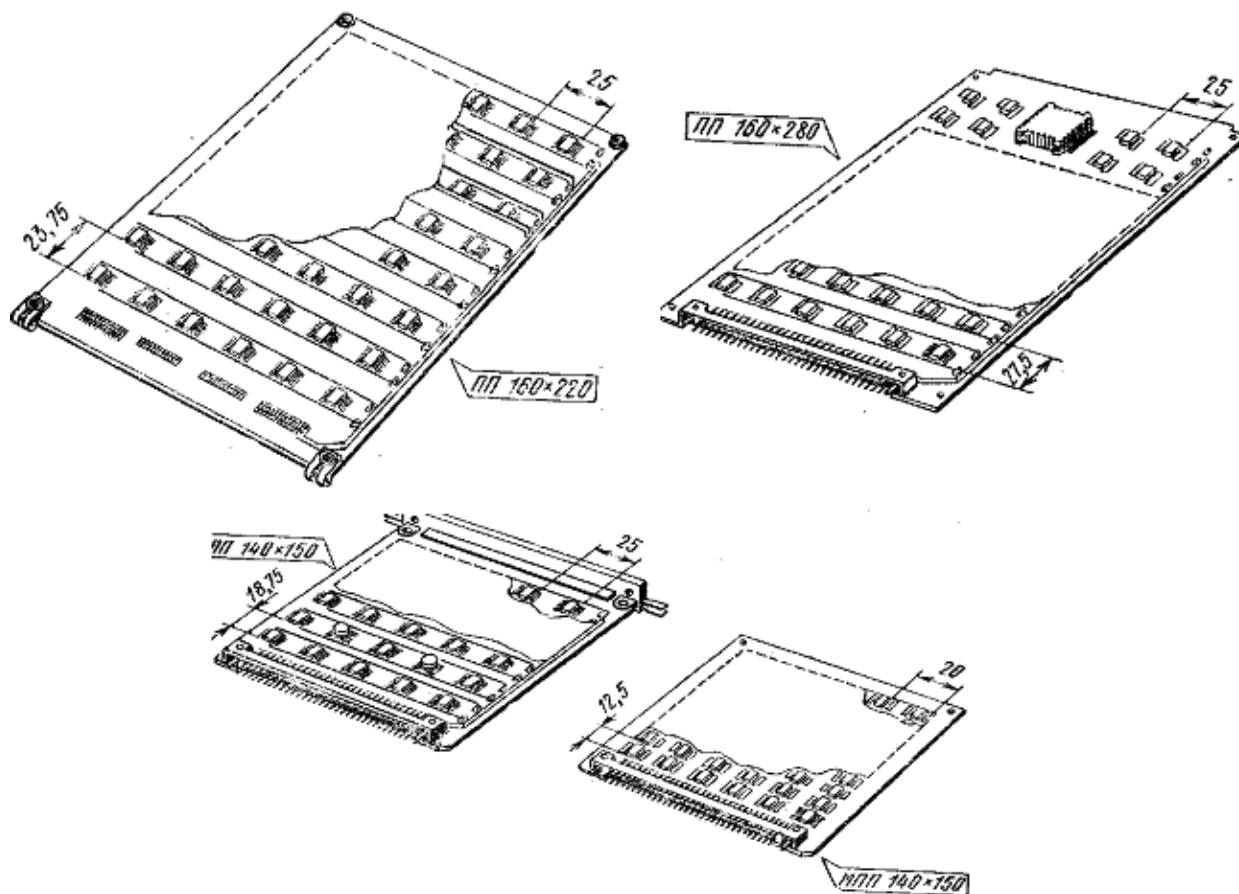


Рисунок 8.9– Типоразмеры печатных плат (ПП) УТК-1 и УТК-2 [5]

структивное исполнение компонентов 1-, 2-, 3-КУ, что обеспечивает преемственность и взаимозаменяемость конструкций на уровне печатного узла и частичного блока. Структура и состав УТК-III отличаются от УТК-1 и УТК-II широким применением бескорпусной элементной базы, т.е. введением нулевого КУ.

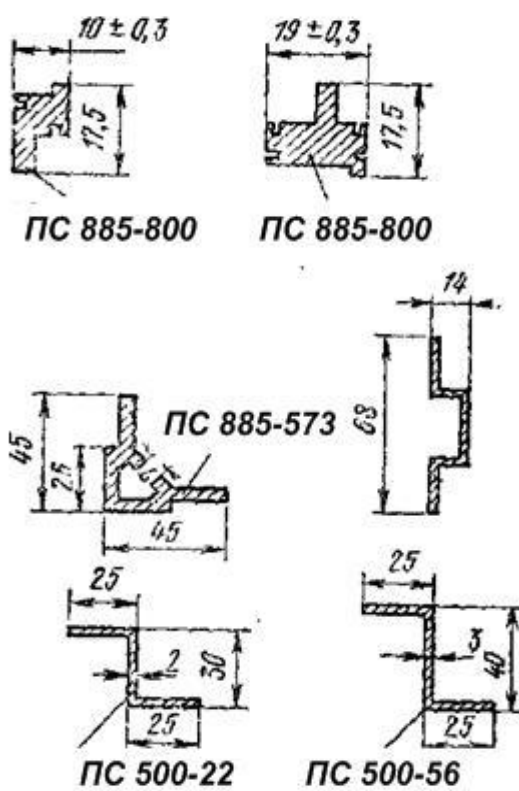


Рисунок 8.10 – Типы профилей для системы УТК-1 и УТК-2 [5]

Основными конструктивными компонентами УТК-I и УТК-II являются четыре унифицированные печатные платы (ПП) трех типоразмеров (рисунок 8.9): 140×150, 160×220, 160×280. ПП 140×150 и многослойные ПП (МПП) 140×150 мм предназначены для «кассетной» компоновки блоков комплекса и являются конструктивным эквивалентом типового элемента замены - ТЭЗ ЕС ЭВМ, что обеспечивает конструктивную совместимость комплекса с единой конструктивной базой, разработанной для ЕС ЭВМ. ПП 160×220 предназначены для «книжной» компоновки блоков комплекса, а ПП 160×280 - для установки в частичный блок. Размеры ПП выбраны

по ГОСТ 10317-72 и определены типоразмерами частичных вставных блоков комплекса УТК. Двухслойные ПП изготавливаются из фольгированного диэлектрика, а МПП 140×150 изготавливаются по методу сквозной металлизации из травящихся фольгированных электроизоляционных материалов и содержат 4...8 печатных слоев. ПП 140×150, МПП 140×150, ПП 160×280, предназначенные для «кассетной» компоновки блоков, имеют стандартный выходной разъем типа ГРПМ-I на 60 или 90 контактов, ПП 160×220, предназначенная для «книжной» компоновки частичных блоков, имеет систему выходные контактов для подсоединения внутриблочного жгутового монтажа или плоского кабеля. Плоские ленточные кабели марок ЛФ и ЛФЭ ТУ 16-505, 682-74 работоспособны после воздействия на них солевого тумана, бензина, керосина и масел. Кабели работоспособны при температуре  $t = -60... + 200^{\circ}\text{C}$ , влажности 98%, (при  $t 35^{\circ}\text{C}$ ), вибрации с частотой 1...2000 Гц и ускорением до  $200 \text{ м/с}^2$  (~20g), линейных перегрузках  $250 \text{ м/с}^2$  (~25 g) и ударах с  $\tau_u = 1... 3 \text{ мс}$  и ускорением  $1500 \text{ м/с}^2$  (~150 g).

Число жил в кабеле ЛФ: 4, 7, 10, 14, 19, 24 и 32, сечения проводов 0.03, 0.05, 0.08, 0.12, 0.2, 0.35, 0.5  $\text{мм}^2$ . У кабеля ЛФЭ (экранированного) число жил 4, 7, 10, 14, 19, 32 сечением 0.08, 0.12 и 0.2  $\text{мм}^2$ .

Кабели на основе дублированных пленок работоспособны в пределах следующих норм: влажность 98% при  $t = 35^{\circ}\text{C}$ , частота вибрации 1...5000 Гц с ускорением до 40 g, линейные перегрузки до 500 g, удары с  $\tau_u = 1...3 \text{ мс}$  и ускорением 150g при  $U_{\text{исп}} \sim 500 \text{ В}$ .

Рабочая температура кабелей с лавсано-полиэтиленом ПЭТФ + ПЭ  $t$  — 60 ...+85 $^{\circ}\text{C}$ , с полиимид-фторопластом — 90...+ 200 $^{\circ}\text{C}$ . Число жил в этих кабелях 2, 5, 10, 20, 32 и 50 при сечениях 0.03, 0.05, 0.08; 0.12, 0.2 и 0.35  $\text{мм}^2$ . Ширина

одной жилы 0,5, 0,6 мм при шаге укладки 1,25 мм и толщине 0,21...0,26 мм. При ширине 1 мм соответственно 2,5 и 0,24...0,28 мм.

В конструкциях компонентов КУ-3 и КУ-4 для УТК-I и УТК-II применены стандартные алюминиевые рамки и профили из алюминиевого сплава АЛ-9, профилированные штампованные детали из листового алюминиевого сплава АМЦ (рисунок 8.10) и клеевинтовые соединения на основе клея К-400.

**Номенклатура частичных блоков** для УТК-I и УТК-II охватывает 59 типоразмеров (рисунки 8.3 и 8.11). Блоки типа 1 (рисунок 8.11) и а (рисунок 8.3) предназначены для размещения ИС и корпусных ЭРЭ. Основные элементы; конструкции блоков: ПП 160×280, передняя панель, направляющие. Блок типа г (рисунок 8.3) предназначен для «книжной» компоновки ПП 160×220, блок типа д (рисунок 8.3), с шириной передней панели  $L = 200$  мм - для «кассетной» компоновки ПП 140×150 и МПП 140×150. Блоки типа 3 (рисунок 8.11), б, в - для крупногабаритных ЭРЭ и источников питания. На задних панелях блоков находятся стандартные разъемы типа ГРПМ-2 на 60, 90 или 120 контактов, а на передних органы управления, регулировки, индикации, контроля и т.п.

Приборные корпуса УТК-I и УТК-II (рисунок 8.12) предназначены для размещения частичных блоков или блочных каркасов, а также специальных устройств индикации и контроля. Основными элементами приборных корпусов являются литые (верхнее и нижнее) основания, боковины из специального профиля, передняя (открывающаяся) и задняя (неподвижная) крышки, арматура крепления и фиксации, влагозащитные уплотнения. Электрические разъемы устанавливаются на специальных кронштейнах и панелях на задней стороне корпуса. Откидывающаяся ручка у переносных корпусов позволяет устанавливать корпус наклонно к плоскости опоры.

Основными компонентами УТК-III являются микроэлектронные узлы (МУ), изготовленные по гибридно-пленочной интегральной технологии корпусного, бескорпусного одно- и многослойного типов (КУ-1, рисунок 8.13). Унифицированной основой, определяющей типоразмеры компонентов КУ-3 УТК-III, являются ТЭК. Основными элементами ТЭК являются печатная плата 1 (рисунок 8.13, несущая рамка-основание 2, рамка-вкладыш 3, колодка монтажная 4, крышка-экран 5. При необходимости применяют дополнительные теплоотводы 2 для платы 1. Конструктивно-компоновочные характеристики ТЭК даны в таблице 5.7 [ 5 ].

Основным несущим элементом микроэлектронного узла (МУ) является плата, представляющая собой подложку из вакуумплотного материала (ситалл, стекло, «поликор», сапфир) с сформированными на ней методом фотолитографии пассивными функциональными элементами схемы (резисторами, проводниками, контактными площадками) и защитным слоем. На ней устанавливают бескорпусные активные и пассивные элементы .

Корпусные МУ предназначены для применения в негерметизированной малогабаритной аппаратуре. Для защиты от внешних воздействий подложки

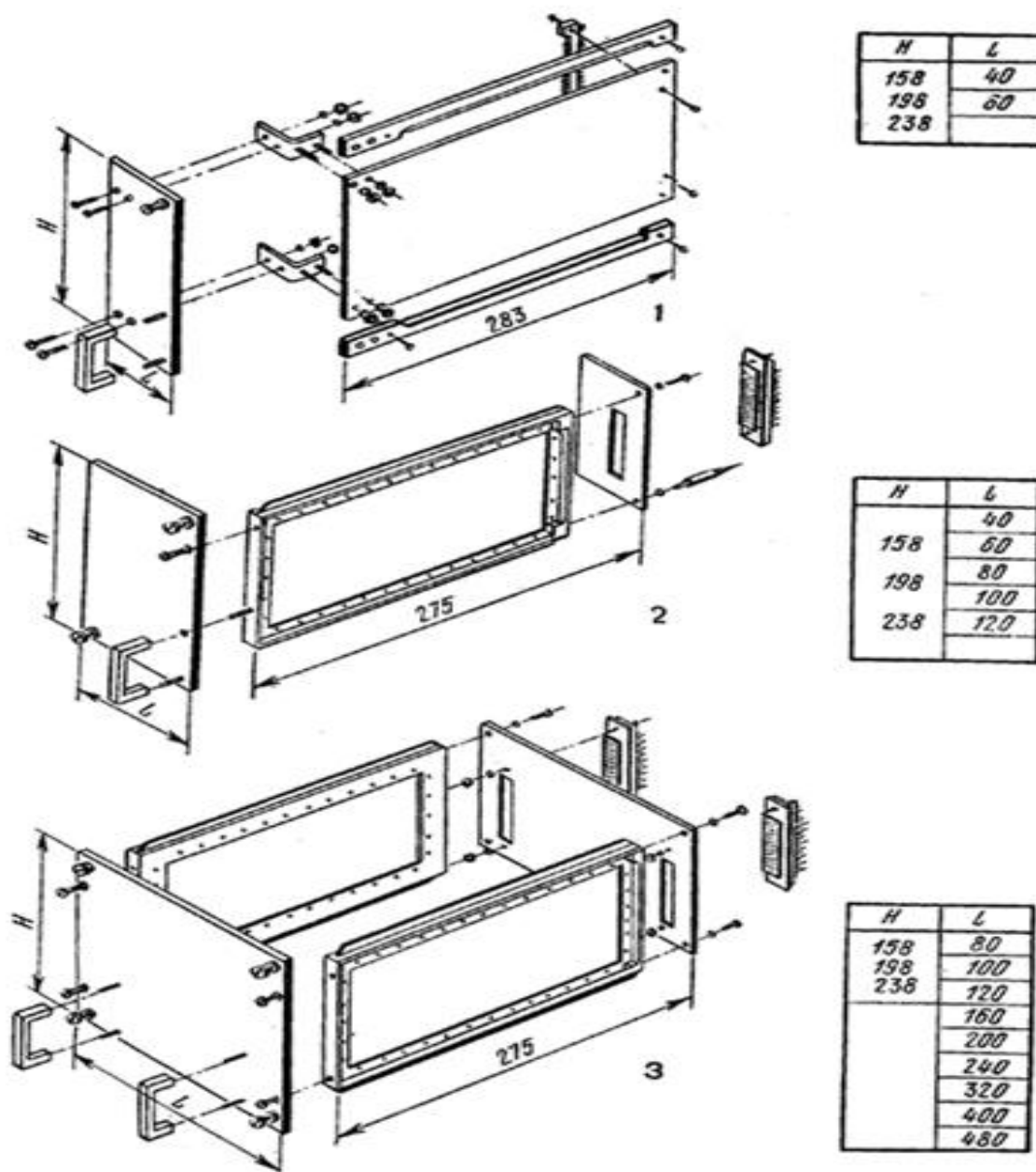


Рисунок 8.11 - Схема конструкций частичных корпусов комплекса универсальных типовых конструкций УТК РЭС [ 5]

с элементами заключают в металлические корпуса типов 252МС15-1 (подложка 15·8 мм) и 253МС15-1 (подложка 15·16 мм), имеющие 15 выводов (один корпусной). Выводы (кроме корпусного) расположены с шагом 2,5 мм. Плотность компоновки элементов 10 см<sup>-2</sup>. Подложка с навесными элементами приклеивается к основанию корпуса клеем ВК-9. Выходные контактные площадки и выводы корпуса соединяются перемычками из золотой проволоки диаметром 0,05 мм. Герметизация осуществляется электроннолучевой (вакуум в корпусе около 133 мкПа (10<sup>-6</sup> мм рт. ст.) или конденсаторной (заполнение корпуса сухим азотом или гелием) сваркой.

Бескорпусные МУ применяют в герметизированной РЭА на ИС. Конструкция МУ представляет собой однослойную плату — подложку (30·12, 30·16,

30·24) с напыленными резисторами и навесными активными и пассивными элементами, 44 выходные контактные площадки с шагом 1,25 мм расположены вдоль двух сторон платы (по 22 на каждой стороне).

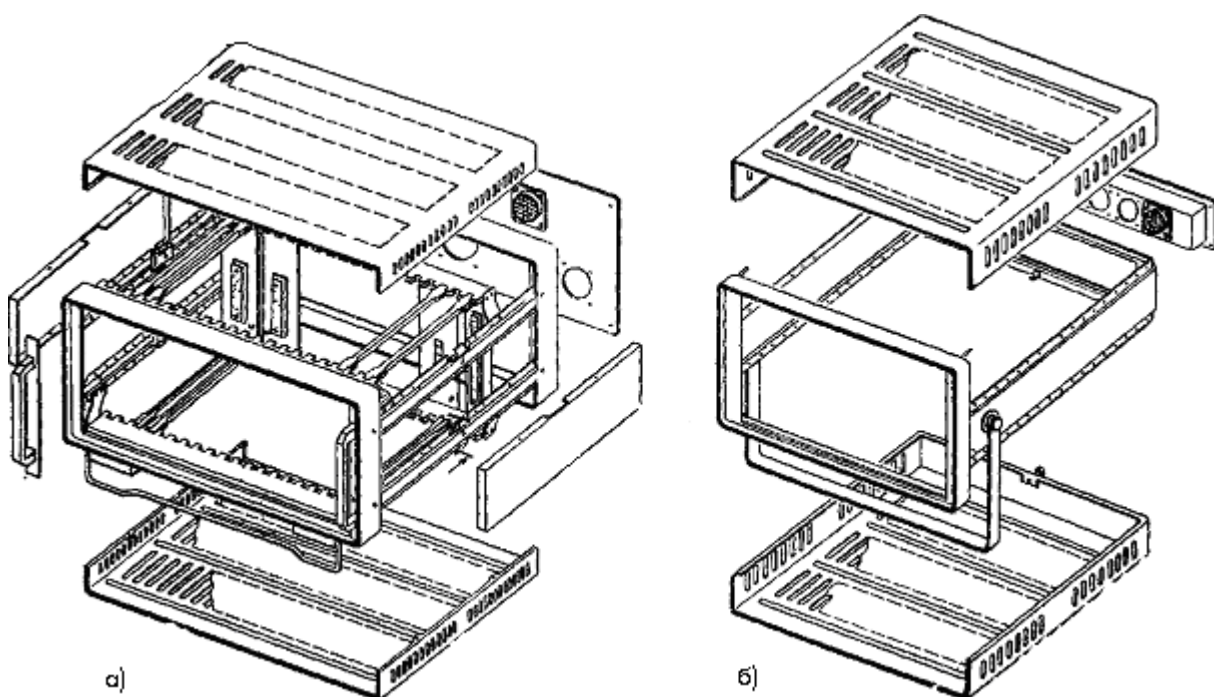


Рисунок 8.12 - Приборные корпуса УТК-1 и УТК-2 [ 5]

На подложке формируется первый слой коммутации

резисторы малой точности, резисторы с повышенной мощностью рассеивания. Второй и третий коммутационные слои наносятся напылением на полиамидную пленку ПМФ-351. На втором слое формируются контактные площадки для электрических переходов между первым и вторым коммутационными слоями и стандартная система выводов МУ. Электрический контакт между первым и вторым слоями осуществляется через гальванически выращенные столбики на проводниках полиамидной пленки (второй слой), а между вторым и третьим — через переходные металлизированные отверстия, получаемые одновременно с коммутацией.

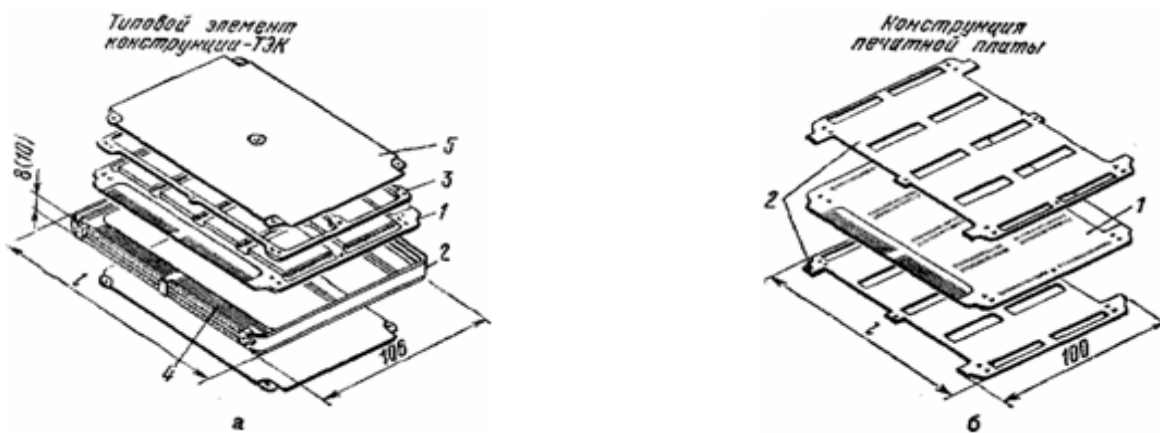


Рисунок 8.13 - Состав компонентов УТК-III. а) - типовой элемент УТК, б) - конструкция платы УТК – III [ 5]

На третьем слое создаются контактные площадки для подсоединения активных бескорпусных полупроводниковых элементов и пассивной «мозаики». Коммутация, контактные площадки и межслойные переходы покрыты оловянно-висмутовым припоем. Между подложкой и полиамидной пленкой с коммутационными слоями помещается перфорированная изоляционная прокладка с клеевым слоем толщиной 0,05 мм. Перфорация осуществляется в местах формирования электрических переходов с первого на второй коммутационный слой.

Полиамидная пленка, изоляционная прокладка и ПП собираются в пакет, который под давлением нагревается до температуры плавления сплава олово-висмут, благодаря чему получается монолитная многослойная структура с межслойными переходами. Плотность компоновки элементов  $200 \text{ см}^{-2}$ .

Блоки УТК-III подразделяются на автономные блоки малой комплектации (тип I), средней комплектации (тип II) и блоки универсальные (тип III) (рисунки 8.14). Основными элементами блоков УТК-III являются литые корпуса-основания, штампованные кожухи, литые верхние крышки (для блоков типа II). Все элементы имеют четырехслойное покрытие (медь—никель—олово—свинец). ТЭК одного типоразмера собирают в вертикальные пакеты и крепят винтами к корпусу-основанию, при этом ТЭК с блоком питания располагают первым от основания.

На корпусе-основании устанавливают межблочные электрические разъемы типа МР-1, штыри заземления и штенгель для заполнения блока инертным газом (например, азотом), амортизаторы типа МР или элементы закрепления блоков на объекте и в компонентах КУ-4.

В зависимости от типа блока разъемы могут находиться на боковой поверхности (тип I), на верхней (тип II) и на специальном выступе (тип III). Штыри заземления и штенгель впаиваются в корпус-основание.

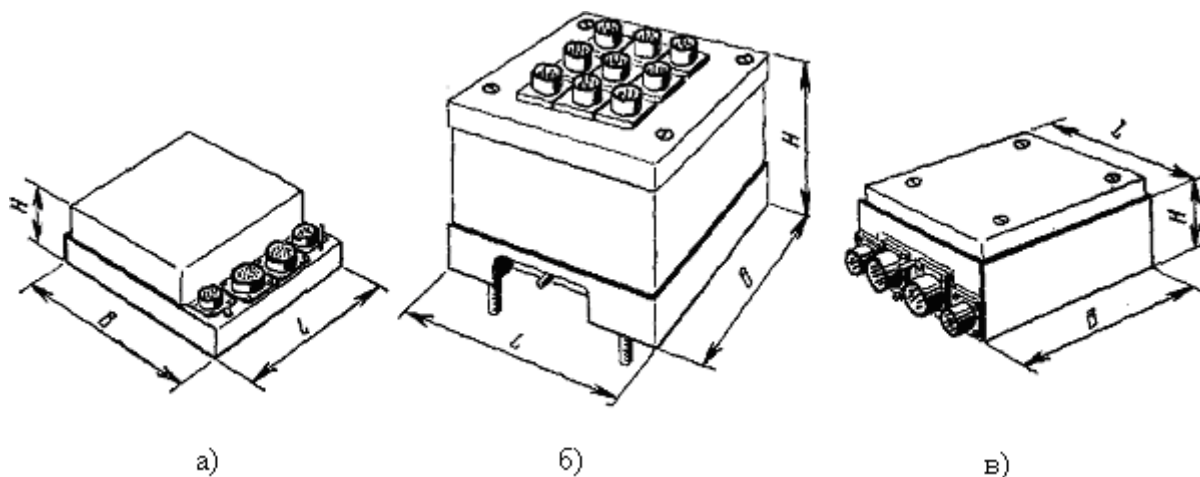


Рисунок 8.14 – Корпуса блоков УТК-3. а) – блок малой комплектации; б) – блок средней комплектации; в) – универсальный блок УТК-3 [ 5]

Монтаж выполняется проводом марки ФД-100 сечением  $0,03 \text{ мм}^2$  (сигнальные цепи) и  $0,07 \text{ мм}^2$  (цепи питания).



Провода с помощью резиновой пластины образуют специальную плоскую монтажную матрицу, которая в корпусе-основании блока собирается в общий жгут, который разветвляется на разъемы.

Заземляемая цепь блока объединяет крайние контакты монтажных колодок ТЭК с общим штырем основания и через выходные разъемы блока соединяется с общей цепью системы.

После настройки и регулировки блок герметизируют, т. е. заключают в кожух и заливают места механических соединений герметиками типа виксинта «Победа», силпена, ВГО-1 и т. п. Допускается герметизация путем запайки легкоплавкими припоями либо полиэтиленом. Способ герметизации выбирается конструктором.

Газонаполнение (последняя операция сборки блока) производится через штенгель, который затем откусывается и запаивается. Вакуумная герметизация блока и заполнение сухим газом - необходимые условия работоспособности РЭА с бескорпусными МУ [5].

Вслед за комплексом унифицированных типовых конструкций РЭА (УТК РЭА) была разработана наиболее развитая конструктивная система (КС) унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов Государственной системы приборов (ГСП)- УТК-20 [7, 43]. Система УТК-20 строится на основании модуля 20 мм и имеет четыре уровня, называемых порядками:

- нулевой уровень (монтажные выдвижные платы, тип не устанавливаются);
- первый уровень (каркасы: частичные К1КЧ- переходные и приборные);
- второй уровень (блочные К2КБ и комплектные К2КК каркасы- вставные и приборные); третий уровень (кожухи: встраиваемые *К3КВ*, настольные *К3КС* и настенные *К3КН*; шкафы: напольные *К3ШН* и настенные *К3ШВ*; стойки: настольные *К3СН*, стационарные *К3СС* и передвижные *К3СД*; столы *К3СП*; подставки *К3ПН*; секции пультов *К3ПА*; секции щитов *К3ЩС* шкафных, и панельных; вставки пультов *К3ВП* и щитов *К3ВЩ*).

Пример условного наименования изделий системы УТК-20: *К3ШН 04-УХЛ* - шкаф напольный номер разработки *04*, климатическое исполнение *УХЛ*.

Входимость уровней обеспечивается тем, что размеры конструкций всех порядков выведены из одних и тех же условных размеров по высоте *H*, ширине *B* и глубине *L* соответственно (таблица 8.5), исходя из модуля 20 мм. Входимость уровней обеспечивается также путём использования вспомогательных изделий (направляющих, ловителей и т.п.)

В качестве исходного размера избран условный размер *B* изделия второго порядка, равный 480 мм. Входимость изделий низшего порядка в изделия высших порядков обеспечивается согласованием внутренних (*h, b*) и наружных (*H, B, L*) размеров. Наружные номинальные размеры изделий второго порядка *H<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>* (индекс 2 означает принадлежность размеров изделиям второго порядка) определяют из соотношений:

$$H_2 = H - \Delta H_2; B_2 = B + \Delta B_2; L_2 = L - \Delta L_2, \quad (8.2)$$

Таблица 8.6 - Рекомендуемые условные размеры в мм изделий нулевого, первого и второго порядков в системе УТК- 20 [43]

$H$	80, 120, 160, 200, 240, 280
$B$	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 200, 220, 240, 280, 320, 360, 400, 440, 480
$L$	240, 360, 480

где  $H, B, L$  - условные размеры, выбираемые из рядов, приведенных в *таблице 4.7*;  $\Delta H_2 = 2$  мм,  $\Delta B_2 = 4$  или  $0$  мм,  $\Delta L_2 = 60$  мм. Внутренние номинальные размеры  $h_2$  и  $b_2$  изделий второго порядка определяют следующим образом:

$$h_2 = H - \Delta h_2; \quad b_2 = B - \Delta b_2, \quad (8.3)$$

где  $\Delta h_2 = 20, 30$  или  $40$  мм;  $\Delta b_2 = 0$  или  $40$  мм. Наружные номинальные размеры  $H_1, B_1, L_1$  изделий первого порядка определяются из соотношений:

$$H_1 = H - \Delta H_1; \quad B_1 = B - \Delta B_1; \quad L_1 = L - \Delta L_1, \quad (8.4)$$

где  $\Delta H_1 = 22$  или  $31$  мм;  $\Delta B_1 = 3$  мм;  $\Delta L_1 = 60$  или  $85$  мм. Внутренние номинальные размеры  $h_1$  и  $b_1$  изделий первого порядка определяются из соотношений:

$$h_1 = H - \Delta h_1; \quad b_1 = B - \Delta b_1, \quad (8.5)$$

где  $\Delta h_1 = 40$  мм, не менее;  $\Delta b_1 = 10$  мм, не более.

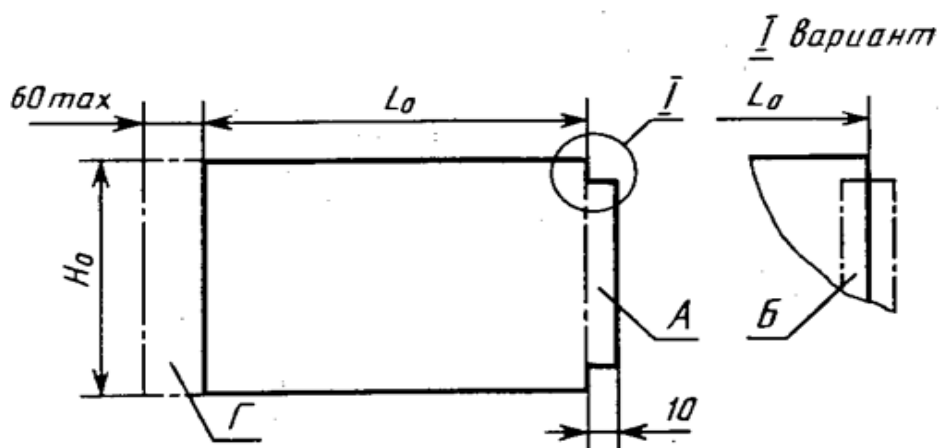
Наружные номинальные размеры  $H_0, B_0$  и  $L_0$  изделий нулевого порядка определяются как

$$H_0 = H - \Delta H_0; \quad B_0 = B; \quad L_0 = L - \Delta L_0, \quad (8.6)$$

где  $\Delta H_0 = 45$  или  $42$  мм;  $\Delta L_0 = 80$  мм. Внутренние номинальные размеры изделий третьего порядка  $h_3$  и  $b_3$  определяют следующим образом:

$$h_3 = H + 40n; \quad b_3 = B + \Delta b_3, \quad (8.7)$$

где  $n$  - целое положительное число или  $0$ ;  $\Delta b_3 = 8$  мм. Основные размеры монтажных выдвижных плат системы УТК-20, которые конструкторам приходится проектировать наиболее часто, показаны на *рисунке 8.15*. Вид и размеры унифицированных типовых конструкций элементов других уровней системы УТК-20 приведены в [43].



$H_0$ , мм	115	155; 195; 235
$H_0$ , мм	80; 100; 120; 140; 160; 200*; 220	100; 120*; 140; 160; 200*; 220
* - в новых разработках не применять		

Рисунок 8.15 - Основные размеры монтажных выдвижных плат системы УТК-20 [43]:  
 А - зона размещения печатной вставки; Б - зона размещения накладной части соединителя; Г - зона размещения элементов настройки и регулирования

В отечественной и зарубежной практике получила применение **система несущих конструкций серии 482,6 мм** [7, 45, 46, 47]. Серия включает фактически три уровня иерархии: первый уровень представлен функциональными узлами, смонтированными на печатных платах. Второй уровень включает выдвижные частичные и блочные каркасы, в которых монтируются в определенном порядке печатные платы. Для оформления изделия в законченном виде служит третий уровень в виде открытых стоек и закрытых шкафов. Особенностью данной КС является неизменный размер передней панели по ширине, равный 482,6 мм (19 дм). Размеры же всех элементов КС по вертикали формируются на основе размерного модуля, равного 44,45 мм. Схема расположения элементов КС в стоечной конструкции приведена на *рисунке 8.16*.

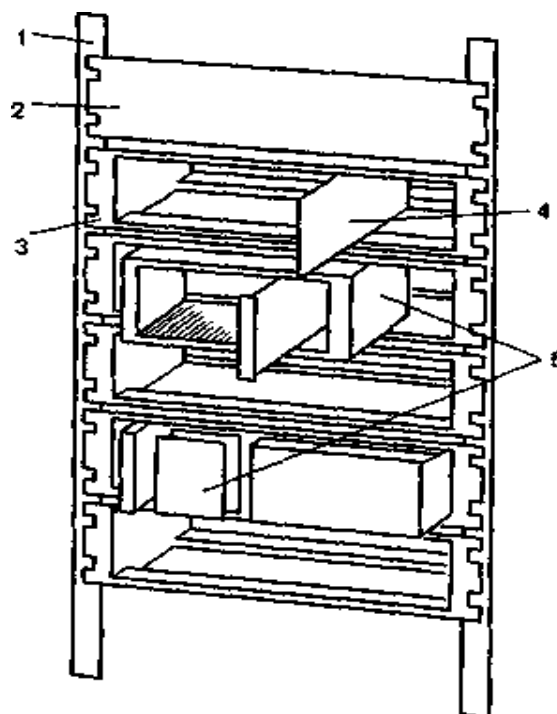


Рисунок 8.16 - Стоечная конструкция:  
 1 - стойка вертикальная; 2 - панель, 3 - блочный каркас, 4 - печатная плата, 5 - выдвижной частичный каркас [7]

**Конструктивная система (КС) микро-ЭВМ и персональных ЭВМ (ПЭВМ)** содержат три уровня базовых конструкций корпуса частичный, комплектный и комплексный (*таблица 8.6*) [7].

Таблица 8.7 - Схемы конструкций, входящих в конструктивную систему микро-ЭВМ и персональных ЭВМ [7]

Корпус частичный	Корпус комплектный	Корпус комплексный
 плата с рычагами	 корпус шкафа	 панель корпусная
 плата с панелью	 корпус стойки	 каркас
 корпус одноплатный	 тумба	 кожух
 корпус универсальный	 стол	 корпус составной

**Корпус частичный** предназначен для размещения одной или двух печатных плат и имеет несколько модификаций, в которые входят печатные платы со съемными рычагами или панелью, одноплатный корпус и корпус универсальный с направляющими для крепления печатных плат.

**Комплектный корпус**, имеющий четыре модификации, предназначен для компоновки печатных плат непосредственно частичных корпусов и других элементов. Панель служит для непосредственной компоновки на ней элементов, а также может применяться в качестве заглушки при компоновке комплексных корпусов. Каркас устанавливается в комплексном корпусе. Кожух применяется в основном для настольных компоновок ПЭВМ, а составной корпус может стоять свободно или фиксироваться на столе или тумбе. В зависимости от назначения составной корпус может наращиваться по горизонтали.

**Комплексный корпус**, модификациями которого являются шкаф, стойка, тумба и стол, предназначен для размещения разновидностей комплектного корпуса, а также различных периферийных устройств. Стол используется в качестве основы для комплектования рабочего места оператора.

### 8.3 Импортные типовые несущие конструкции, применяемые при проектировании отечественных ЭС

В связи с увеличением степени интеграции России в мировое сообщество, при проектировании отечественных ЭС всё чаще используют импортные типовые несущие конструкции.

За рубежом разработкой конструкционных систем (КС) занимается более 90 фирм. Некоторые из них специализируются на выпуске только КС в комплекте с элементами, необходимыми для крепления узлов и блоков и их компоновки. В конце двадцатого века наибольшее распространение получил модульный комплекс аппаратуры *Camac* (*Computer Applications for Measurements and Control* - США - Франция - Канада) [5]. Схема типовых конструкций модульного комплекса аппаратуры *Camac* показана на рисунке 8.17.

Комплекс *Camac* предназначен для создания систем с цифровой обработкой информации и регламентирует способы механического и электрического со-

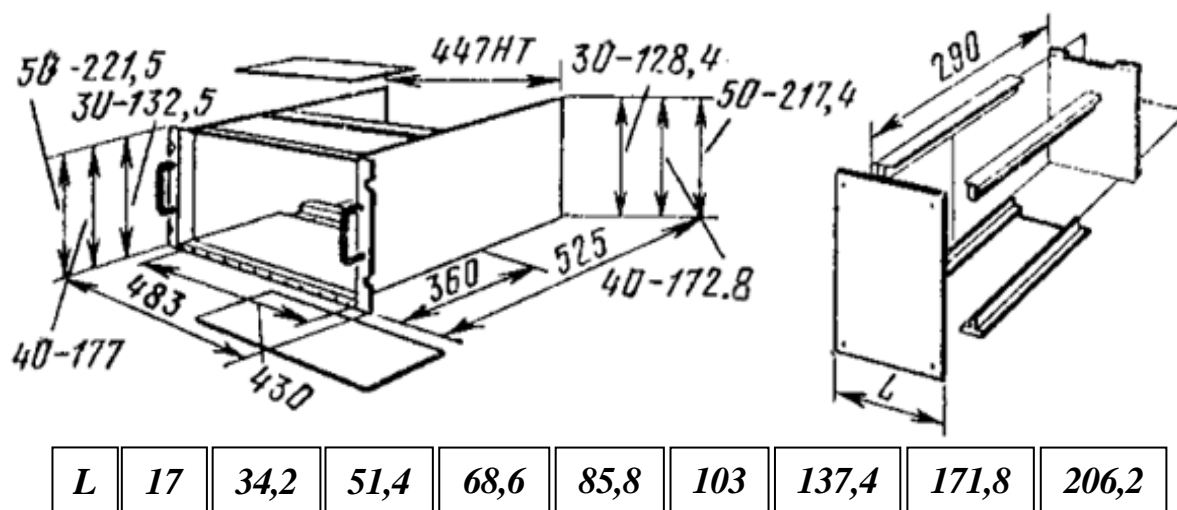


Рисунок 8.17 - Схема типовых конструкций модульного комплекса аппаратуры *Camac* [5]

единения отдельных модулей, установленных в каркасе и блоках управления. Электрические схемы монтируют на платах с двухсторонним печатным монтажом. Платы крепят внутри металлических каркасов стандартных блоков. Минимальная ширина блока 17,2 мм, высота 221,5 мм, глубина 306 мм, высота и глубина постоянны, а ширина передней панели меняется по модулю 17,2 мм. Система включает в себя девять типоразмеров (см. таблицу рисунка 2.12). Блоки, выполняющие различные функции, устанавливаются в отсеки общего стандартного механического каркаса (крейта), внутренняя ширина которого 430 мм, высота 200 мм, глубина 360...525 мм.

Перечень некоторых других зарубежных конструкционных систем приведен в таблице 8.7.

Таблица 8.8 - Перечень некоторых зарубежных конструкционных систем [7]

Наименование фирмы, применяющей КС	Обозначение уровней КС	Наименование уровня
<i>Augat Inc.</i>	Первый Второй Третий  Четвертый	Платы базовые и интерфейсные Корпус частичный (рамка) Корпус комплектный: выдвижной с поворотными рамками, вставной, вставной с поворотными вертикальными рамками Кожух для вставного корпуса, панели, соединительные элементы
<i>Optec Inc.</i>	Первый Второй Третий	Платы Корпус частичный Корпус комплектный
<i>Intel Corp.</i>	Первый Второй Третий	Плата Корпус частичный Корпус комплектный с модификациями
<i>Machine Tool Ltd.</i>	Первый Второй Третий Четвертый	Плата Корпус частичный Корпус комплектный Корпус комплексный
<i>AEG-Telefunken</i>	Первый Второй Третий Четвертый	Элементы конструкции, платы Корпус с соединителями Корпус частичный Корпус комплектный, шкаф, пульт

В последние годы в отечественных разработках ЭС всё чаще используют корпуса и шкафы для электронного оборудования 19-дюймового стандарта немецкой компании *Schroff* [48]. Достоинством этой компании является то, что к выпускаемым ею сравнительно недорогим несущим конструкциям она постав-ляет полный набор принадлежностей и приспособлений. К шкафам и 19-дюймовым корпусам поставляются конструктивно совместимые с ними сред-ства для поддержания климата (системы вентиляторов, решёток, фильтров). Схема конструкции 19-дюймового корпуса типа *protec* для аппаратуры с венти-ляцией немецкой компании *Schroff* приведена на *рисунке 8.18*.

Компания *Schroff* постав-ляет также 19-дюймовые приборные корпуса

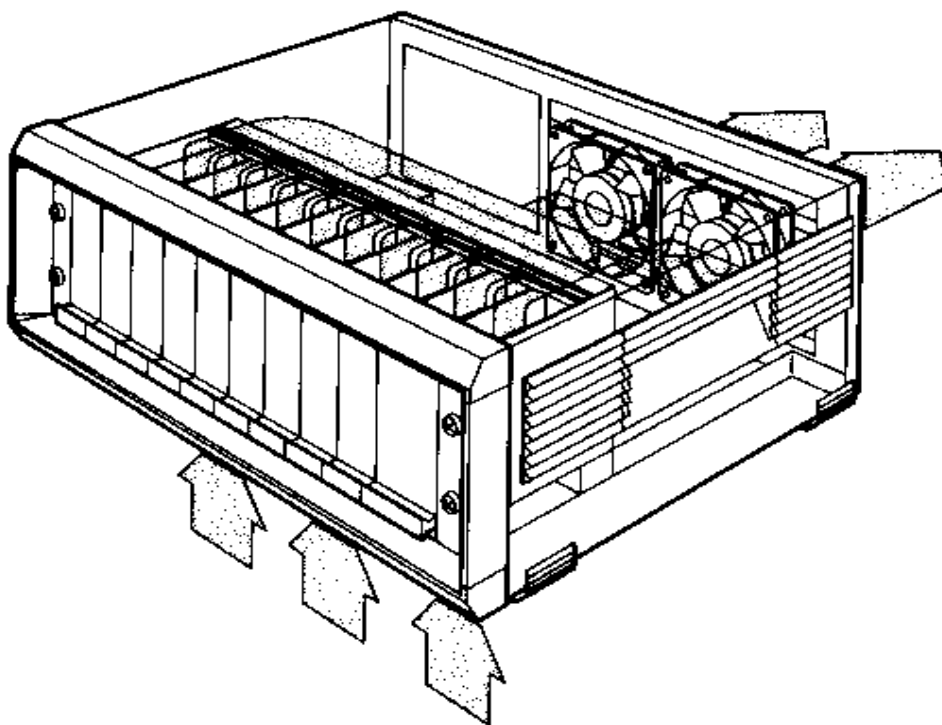


Рисунок 8.18 - Схема конструкции 19-дюймового корпуса для аппаратуры с вентиляцией типа *protos* немецкой компании Schroff [48]

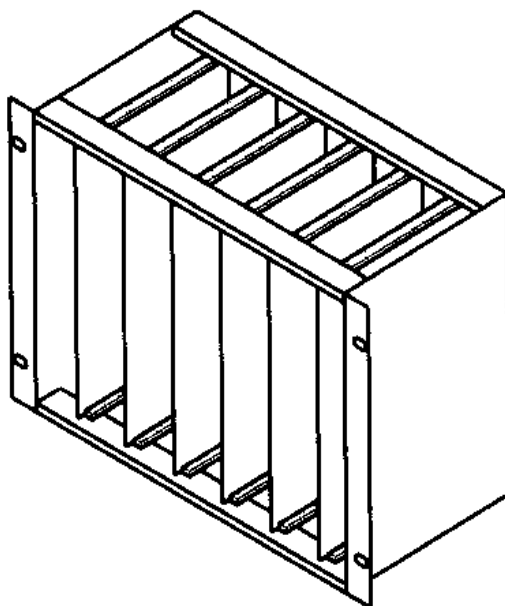


Рисунок 8.19 - Схема конструкций 19-дюймового приборного корпуса типа *ratiopac PRO/-air* (верхняя и передняя панели сняты) и субблока типа *europac PRO* немецкой компании Schroff [48]

типа *ratiopac PRO/-air* и субблока типа *europac PRO* (рисунок 8.19), с продуманной системой защиты от радиопомех.

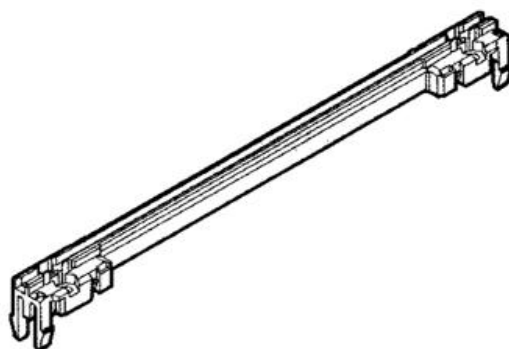


Рисунок 8.20 - Одна из типовых конструкций направляющих для установки печатных плат в 19-дюймовых приборных корпусах типа *ratiofac PRO/-air* и в субблоках *europac PRO* немецкой компании Schroff [ 48]

Для проектировщиков представляет интерес детально ознакомиться с конструктивными особенностями корпусов и субблоков, а также типовых принадлежностей к ним, с целью использования типовых конструктивных решений в разрабатываемых устройствах.

Одна из типовых конструкций направляющих для установки печатных плат в 19-дюймовых приборных корпусах типа *ratiofac PRO/-air* и в субблоках *europac PRO* изображена на рисунке 8.20. Средняя часть направляющих изготовляется из анодированного алюминиевого профиля, а наконечники из пластмассы.

Для крепления направляющих и профилированных рельсов в типовых конструкциях субблоков типа *europac PRO* опорные планки и панели перфорируют

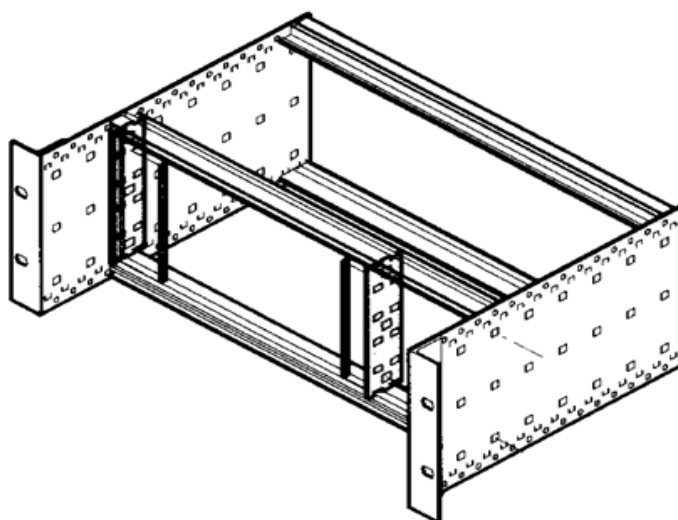


Рисунок 8.21 - Одна из типовых конструкций субблока типа *europac PRO* немецкой компании Schroff (вертикальная опорная планка и боковые панели перфорированы) (рисунок 8.21).

Одна из типовых конструкций опорной планки показана на рисунке 8.22, а. Для того чтобы размещать направляющие для печатных плат в нужном месте на перфорированном и профилированном рельсе используют



кодировочный блок (рисунк 8.22, б). Этот блок состоит из зажима *ESD*, который закрепляют в нужном месте на перфорации профилированного рельса. В зажим вставляются и защёлкиваются в нём штифты направляющих для уста-

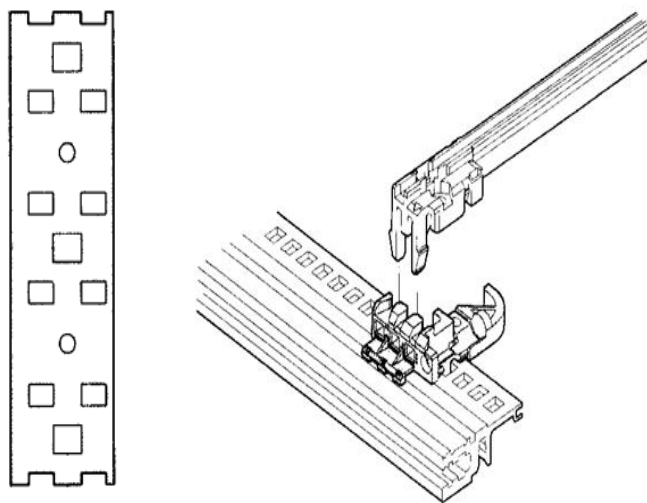


Рисунок 8.22 - Примеры конструкций опорной планки (а) и кодировочного блока для субблока eucoras PRO немецкой компании Schroff (вертикальная опорная планка и горизонтальный профилированный рельс перфорированы) [48]

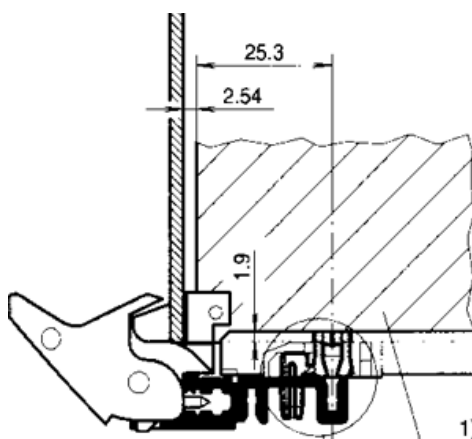


Рисунок 8.23 - Крепление печатных плат (1) в направляющих с помощью зажимов ESD в субблоке типа eucoras PRO немецкой компании Schroff [48]

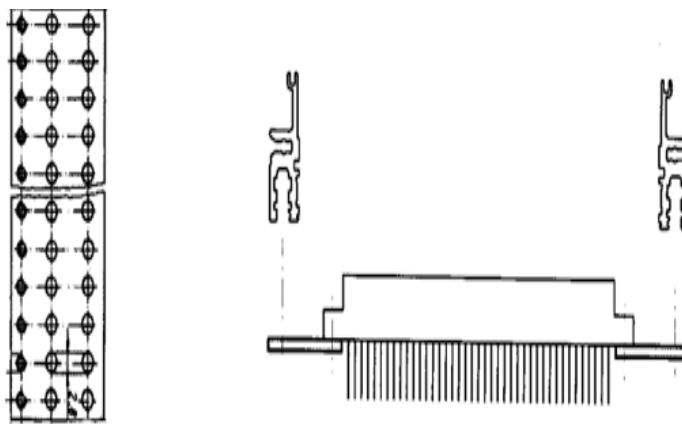


Рисунок 8.24 - Крепление соединителя на перфорированном рельсе с резьбовыми отверстиями в субблоке типа eucoras PRO немецкой компании Schroff [48]

новки печатных плат.

Для того, чтобы печатные платы не могли при механических воздействиях перемещаться вдоль направляющих, используют специальные зажимы *ESD* для печатных плат (рисунке 8.23).

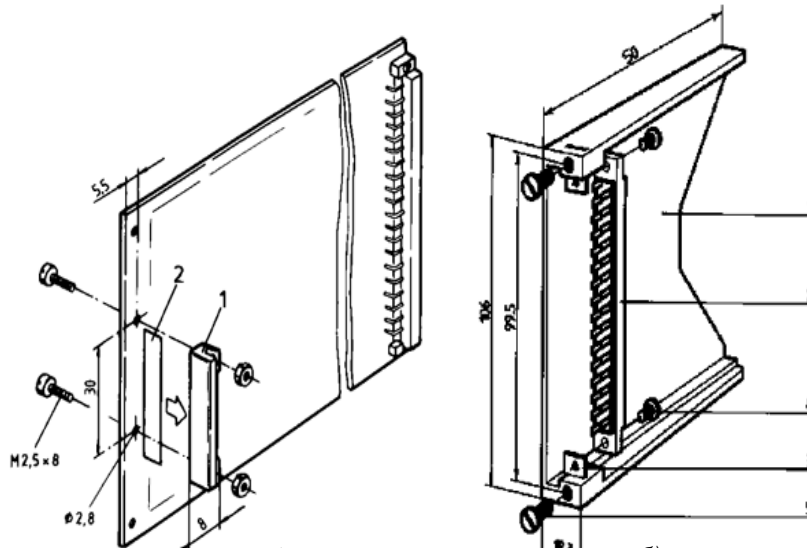


Рисунок 8.25 - Примеры типового конструктивного исполнения: а - крепления ручки 1 и маркировочной этикетки 2 на печатной плате; б - кожуха для установки европлаты формата 100×60 мм в субблок типа *europac PRO* немецкой компании Schroff (1 - кожух печатной платы; 2 - гнездовая часть соединителя; 3 - опорная пластина; 4 - винты M2,5; 5 - винты M4) [48]

Конструкция крепления соединителя на перфорированном рельсе с резьбовыми отверстиями в субблоке типа *europac PRO* показана на рисунке 8.24.

На рисунке 8.25, а показан один из примеров типового конструктивного исполнения крепления ручки и маркировочной этикетки на печатной плате, а на рисунке 8.25, б - пример конструкции кожуха для установки европлаты формата 100×160 мм в субблок типа *europac PRO*.

На рисунке 8.26, а показан один из примеров типового конструктивного исполнения крепления ручек на 19-дюймовом шасси типа *multipac*, а на рисунке 8.26, б - пример конструкции - кроссплаты, монтируемой в ряд, для обеспечения высокоскоростного обмена данными между платами вычислительных устройств, например компьютеров. Из-за ограниченного объема пособия нами приведено описание лишь минимально необходимого набора типовых конструкций. Для их более детального изучения следует использовать литературу [5, 7, 40 - 48].

Рассмотрев основные типы отечественных и импортных конструктивных систем (КС), мы установили, что их общими характеристиками являются:

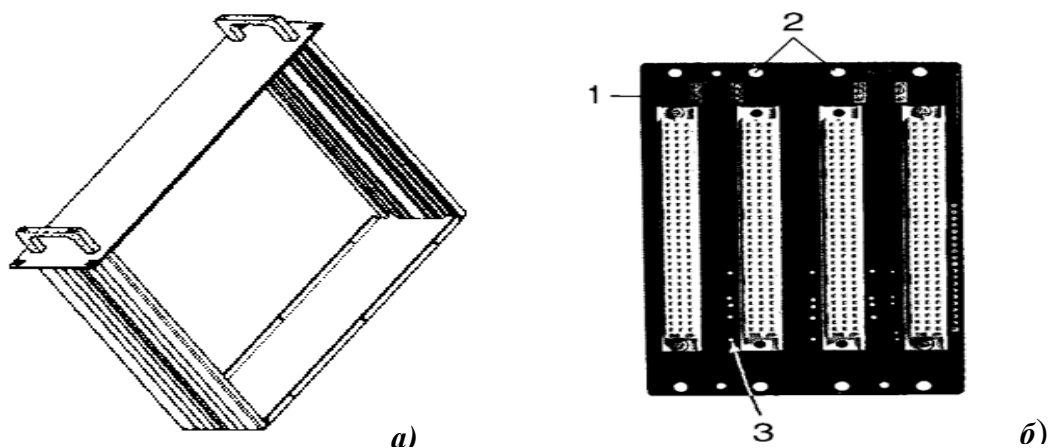


Рисунок 8.26 - Примеры типового конструктивного исполнения: а - крепления ручек на 19 - дюймовом шасси типа multipac; б - кроссплаты, монтируемой в ряд, для обеспечения высокоскоростного обмена данными между платами вычислительных устройств (1 - четырехслойная кроссплата; 2 - монтажные отверстия; 3 - перемычки переадресации запроса по шине для сигналов) [48]

- наличие иерархических конструктивных уровней, находящихся в соподчинении, что обеспечивает входимость нижних уровней в высшие;
- формирование размеров конструктивных элементов на основе исходного размерного модуля;
- согласование геометрических размеров конструктивных элементов с антропометрическими характеристиками оператора [7].

Использование КС позволяет сократить сроки проектирования ЭС улучшить конструктивную совместимость и размерную взаимозаменяемость электронных модулей, улучшить показатели ремонтпригодности и уменьшить габариты конструкции, эффективнее использовать САПР. Фактически в простых случаях, когда ЭС работает в лабораторных условиях на сравнительно низких частотах и потребляет малую мощность, конструктору при использовании КС приходится заниматься, в основном, лишь разработкой топологии печатных плат и проектированием лицевых панелей. Более старые КС используются проектировщиком при модернизации ранее выпускавшихся ЭС. Современные КС, например отечественную систему БНК РЭС [42] или типовые конструкции компании *Schroff* [48], целесообразно использовать для вновь разрабатываемой аппаратуры.

Компания *Gainta* выпускает и продаёт типовые корпуса для проектируемых переносных и настольных приборов, пультов управления, измерительных приборов и кабельных разводов. Примеры конструкций пластмассовых типовых корпусов для настольных приборов компании *Gainta* показаны на рисунке 8.27. Для выбора типа корпуса при выполнении курсового проекта в таблицах 8.8 и 8.9 приведены размеры пластмассовых и алюминиевых типовых корпусов для

настольных приборов этой компании. Полное описание всех типов корпусов, выпускаемых компанией *Gainta* приведено в [37].

Таблица 8.8 - Габаритные размеры пластмассовых штампованных типовых корпусов для настольных приборов, выпускаемых компанией *Gainta* [37]

Светлый корпус, тёмные панели	Тёмный корпус, светлые панели	Габаритные размеры в мм	Светлый корпус, тёмные панели	Тёмный корпус, светлые панели	Габаритные размеры в мм
G430	G401	90x50x16	G443	G413	150x80x30
G431	G403	90x50x24	G445	G416	150x80x45
G434	G404	90x50x32	G447	G418	150x80x60
G436	G407	120x60x30	G452	G421	190x100x40
G438	G410	120x60x40	G454	G422	190x100x60
G440	G412	120x60x50	G459	G425	190x100x80

Таблица 8.9 - Габаритные размеры литых алюминиевых типовых корпусов для настольных приборов, выпускаемых компанией *Gainta* [37]

Наименование и размеры в мм	Наименование и размеры в мм	Наименование и размеры в мм
G101: 50x45x30	G108: 125x80x50	G117: 160x100x81
G102: 90x36x30	G109: 150x63x33	G120: 171x121x55
G103: 98x64x34	G111: 115x65x55	G124: 222x146x55
G104: 64x58x35	G113: 115x90x55	G125: 222x146x82
G106: 115x65x30	G115: 148x108x75	G137: 120,5x120,5x101,5
G107: 125x80x40	G116: 160x100x60	G101: 158,5x158,5x101,5

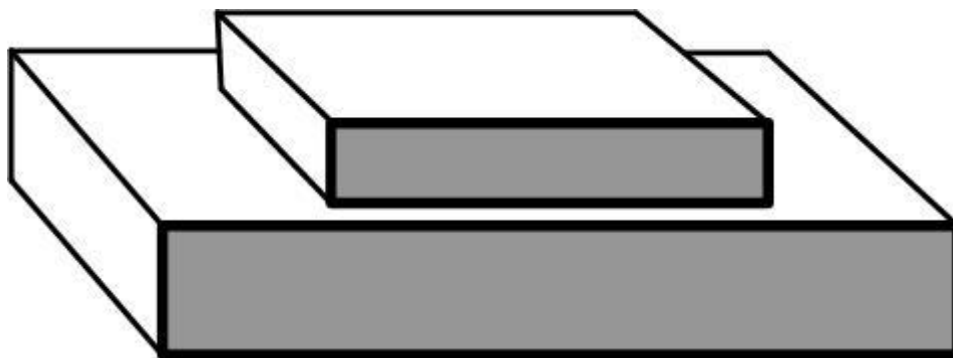


Рисунок 8.27 - Пластмассовые типовые корпуса для настольных приборов компании Gainta [37]

## 9 РАСЧЕТ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНСТРУКЦИИ

### 9.1 Расчет массы УТК

Масса УТК (рисунок 9.1) состоит из массы печатного узла ( $M_{пу}$ ), массы передней панели ( $M_{п}$ ) с расположенными на ней элементами, массы рамки (или двух направляющих), на которых закрепляется печатный узел, и массы задней панели ( $M_{з}$ ) УТК с разъемом и штырем – ловителем.

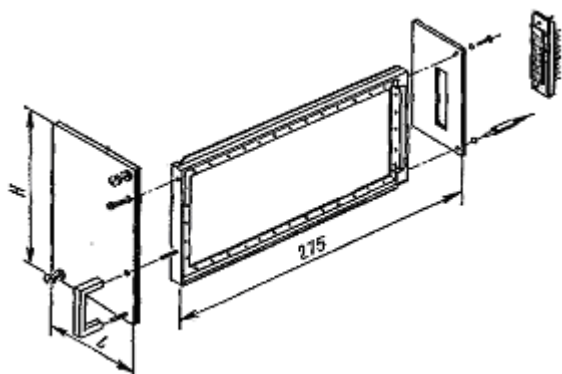


Рисунок 9.1 - Состав конструкции УТК -1

Ниже приводится пример расчета массы печатного узла (ПУ). Предварительно выбирают из справочников или каталогов массу всех электрорадиоэлементов (ЭРЭ) проектируемого устройства. Эти значения массы ЭРЭ удобно представлять в курсовом проекте таблично (таблица 9.1). Масса печатного узла складывается из массы материала пластины печатной платы и массы электрорадиоэлементов, расположенных на плате, и рассчитывается по формуле:

$$M_{пу} = \rho \cdot V_{пл} + M_{эл},$$

где:  $V_{пл}$  - объём печатной платы,  $м^3$ ;

$\rho$  - плотность материала печатной платы, выбирается по таблице из приложения. Для стеклотекстолита  $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;

$M_{эл}$  - масса электрорадиоэлементов, установленных на печатной плате, кг;

$$V_{пл} = V_{пласт} - V_{отв} = a \cdot b \cdot h - n \cdot (\pi \cdot r^2 \cdot h),$$

где:  $V_{пласт}$  - объём пластины печатной платы,  $м^3$ ;  $V_{отв}$  - объём отверстий в печатной плате,  $м^3$ ;  $a$  - длина пластины,  $м$ ;  $b$  - ширина пластины,  $м$ ;  $h$  - толщина пластины,  $м$ ;  $r$  - радиус отверстий,  $м$ ;  $n$  - количество отверстий;

По результатам таблицы определяют общую массу (в кг) элементов схемы  $M_{эл}$ .

По формуле (9.1) определяют массу печатного узла с элементами  $M_{пу}$ .

Массу передней панели  $M_{п}$  УТК определяют:

$$M_{п} = \rho_{ал} \cdot V_{п}, \tag{9.2}$$

где:  $V_{\Pi}$  - объем передней панели УТК, подсчитывается аналогично объему ПУ;  $\rho_{ал}$  - плотность материала передней панели.

Аналогично определяется масса задней панели  $M_3$ , направляющих, рамок и других деталей  $M_д$ , составляющих конструкцию УТК.

Массу деталей всей конструкции УТК удобно также привести в виде таблицы, например, таблица 9.2.

Таблица 9.1 - Масса установленных на печатной плате ЭРЭ

Название элементов	Масса элементов, г	Количество Элементов, шт.	Суммарная масса, г
Варикап KB 121A	0,3	1	0,3
Конденсатор K50-24	7	2	14
Конденсатор K10-17	7	14	98
Резистор С2-6	1	3	3
Резистор СПЗ-36	11	1	11
Микросхема КС1066ХА1	5	1	5
Разъем ГРПМ-2	46	1	46

Таблица 9.2 - Масса деталей конструкции УТК

Название Элементов	Масса элементов, г	Количество Элементов, шт.	Суммарная масса, г
Ручка	12	1	12
Направляющая	37	2	74
Винт	7	2	14
Прокладка	0,1	4	0,4
Винт М2	4,8	8	38,4
Винт М3	5,5	4	20,2
Гайка М3	1,6	4	6,4
Шайба	0,2	4	0,8
Штырь-ловитель	10	1	10

Значение массы УТК определяется суммированием массы всех элементов составляющих конструкцию УТК.

Масса УТК :

$$M_{УТК} = M_{Пл} + M_{\Pi} + M_3 + M_д \text{ кг.}$$

## 9.2 Расчет центра масс УТК

Для решения этой задачи необходимо выбрать систему координат и предварительно определить координаты центров масс основных элементов, которые составляют конструкцию.

Расчет координаты центра масс изделия производится по формуле:

$$a_{Ц} = \sum_i^n (a_i \cdot m_i) / m , \quad (9.3)$$

где:  $a_{Ц}$  – координата центра масс изделия;  $a_i$  – координата центра масс  $i$  – го элемента;  $m_i$  – масса  $i$  – го элемента;  $m$  – масса всего изделия.

За начало системы координат принимается левый передний нижний угол конструкции изделия на сборочном чертеже. Ось  $X$  направлена вдоль узкой стороны панели конструкции УТК, ось  $Y$  направлена вдоль рамки УТК, ось  $Z$  направлена вдоль длинной стороны панели вверх конструкции.

Данные о координатах центров масс элементов конструкции изделия следует занести в таблицу.

Таблица 9.3 – Координаты центра масс элементов изделия

Наименование элемента	Масса $m$ , гр	Координаты центра масс, мм		
		$X_i$	$Y_i$	$Z_i$
Печатный узел				
Передняя панель				
Рамка				
Задняя панель				

В заключение расчета массогабаритных показателей конструкции изделия приводятся значения массы всего изделия, габаритные размеры изделия, координаты центра масс изделия. Точка координаты центра масс изделия наносится на сборочный чертеж изделия.

## 10 РАСЧЕТ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПЕЧАТНОГО УЗЛА

Целью расчета является определение действующих на элементы изделия перегрузок при действии вибрации и ударов, а также максимальных перемещений.

Для оценки виброустойчивости необходимо сделать расчёт собственной частоты платы с элементами. Собственная частота платы не должна попадать в диапазон частот, указанных в техническом задании в разделе условий эксплуатации проектируемого изделия, так как в этом случае возникает механический резонанс и может произойти разрушение платы.

Последовательность расчета собственной частоты печатной платы с электрорадиоэлементами включает следующие пункты.

Определяется распределенная по площади платы масса по формуле (10.1)

$$m^* = \frac{m}{a \cdot b}, \quad (10.1)$$

где  $m^*$  - распределённая по площади платы масса, кг/м<sup>2</sup>;  
 $m$  - масса пластины печатной платы с элементами, кг;  
 $a, b$  - длина и ширина пластины, м.

Определяется цилиндрическая жесткость платы по формуле (10.2):

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - V^2)}, \quad (10.2)$$

где:  $E$  - модуль упругости;  $h$  - толщина пластины;  $V$  - коэффициент Пуассона.

Коэффициент Пуассона и модуль упругости определяется в зависимости от материала пластины. Для стеклотекстолита, который имеет наибольшее применение при проектировании печатных плат,  $E = 3.02 \cdot 10^{10}$  Па,  $V=0.279$ .

Определяется частота собственных колебаний равномерно нагруженной пластины по формуле (10.3):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{a \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{D}{m^*}}, \quad (10.3)$$

где:  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от способа крепления сторон пластины, и выбирается из справочника [ 5 ]. Для пластины, закреплённой в  $n$  точках

$$f_0 = 1,57 \cdot A + 1/b^2 \cdot \sqrt{\frac{D}{m^*}}; \quad A = 1/a^2 \quad n = 4 ; \quad A = 1/4a^2 \quad n = 6 . \quad (10.4)$$

Таким образом, исходя из полученной расчетной частоты собственных колебаний, можно в дальнейшем сделать вывод, что данная конструкция печатного узла под влиянием вибрационных нагрузок претерпевает резонанс (когда значение частоты попадает в диапазон воздействующих частот), либо резонанс отсутствует, (собственная частота печатной платы лежит за границей воздействующих частот, указанных в техническом задании) и предпринимать меры защиты от механических воздействий нет необходимости.

## 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Технологичность конструкции это сочетание конструктивно-технологических требований, которое обеспечивает наиболее простое и экономичное производство изделий при соблюдении всех технических и эксплуатационных требований. Отработка конструкции на технологичность ведется конструкторами и технологами на всех стадиях проектирования и изготовления изделия. Стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП), ГОСТ 14.201—83, перед разработкой технологических процессов предусмотрена обязательная отработка конструкций на технологичность с целью повышения производительности труда, снижения материальных затрат и сокращения времени на проектирование, технологическую подготовку производства,



изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении его высокого качества. Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требованиям технологичности конструкции. Количественная оценка рациональна только в зависимости от признаков, которые существенно влияют на технологичность рассматриваемой конструкции. Для оценки технологичности конструкции используются относительные частные показатели  $K_i$ , и комплексный показатель  $K$ , рассчитываемый по частным показателям с учетом коэффициентов  $\varphi_i$ , характеризующих весовую значимость частных показателей, т. е. степень их влияния на трудоемкость изготовления изделия. Система этих показателей разработана Н. А. Бородачевым. Значения  $K_i$ , находятся в пределах  $0 < K_i \leq 1$ , при этом рост показателя соответствует более высокой технологичности изделия. Коэффициент  $\varphi_i$  зависит от порядкового номера основных показателей технологичности, ранжированная последовательность которых устанавливается экспертно, и рассчитывается по формуле

$$\varphi_i = i/2^{i-1}, \quad (11.1)$$

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

Расчет комплексных показателей технологичности каждой группы изделий ведут по конструктивным и технологическим базовым показателям, состав которых (не более семи) для каждого изделия согласно ГОСТ 14.201—83 устанавливается отраслевыми документами. В качестве примера рассмотрим состав базовых показателей по весовой значимости и расчетные формулы для серийного производства электронных блоков.

#### 1. Коэффициент использования микросхем

$$K_{умс} = H_{умс} / H_{эрэ}, \quad \varphi_1 = 1/2^{1-1} = 1, \quad (11.2)$$

где  $H_{умс}$  - количество микросхем;  $H_{эрэ}$  - общее количество элементов (ЭРЭ).

#### 2. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа

$$K_{ам} = H_{ам} / H_m, \quad \varphi_2 = 2/2^{2-1} = 1, \quad (11.3)$$

где  $H_{ам}$  - число монтажных соединений, выполняемых механизированным или автоматизированным способом;  $H_m$  - общее число монтажных соединений.

#### 3. Коэффициент автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ к монтажу

$$K_{мп\ эрэ} = H_{мп\ эрэ} / H_{эрэ}, \quad \varphi_3 = 3/2^{3-1} = 0,75, \quad (11.4)$$

где  $H_{мп\ эрэ}$  - количество ЭРЭ, которые подготавливаются к монтажу механизированным или автоматизированным способом (в это число включаются ЭРЭ, не требующие специальной подготовки к монтажу - микросхемы, реле, разъемы и т. д.).

#### 4. Коэффициент автоматизации и механизации операций контроля и настройки электрических параметров

$$K_{мкн} = H_{мкн} / H_{кн}, \quad \varphi_4 = 4/2^{4-1} = 0,5, \quad (11.5)$$

где  $H_{мкн}$  - число операций контроля и настройки, выполняемых механизированным или автоматизированным способом;  $H_{кн}$  - общее число операций контроля и настройки.

#### 5. Коэффициент повторяемости ЭРЭ

$$K_{повт \ эрэ} = 1 - H_{т \ эрэ} / H_{эрэ}, \quad \varphi_5 = 5/2^{5-1} = 0,31, \quad (11.6)$$

где  $H_{т \ эрэ}$  - количество типоразмеров ЭРЭ в изделии.

#### 6. Коэффициент применяемости ЭРЭ

$$K_{н \ эрэ} = 1 - H_{т \ ор \ эрэ} / H_{т \ эрэ}, \quad \varphi_6 = 6/2^{6-1} = 0,187, \quad (11.7)$$

где  $H_{т \ ор \ эрэ}$  - количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии.

#### 7. Коэффициент прогрессивности формообразования деталей

$$K_{мкн} = D_{пр} / D, \quad \varphi_7 = 7/2^{7-1} = 0,11, \quad (11.8)$$

где  $D_{пр}$  - число деталей, заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами формообразования (штамповкой, прессованием, порошковой металлургией, литьем по выплавляемым моделям, под давлением, пайкой, сваркой, склеиванием, из профилированного материала);  $D$  - общее число деталей.

Технологичность конструкции изделия оценивается комплексным показателем  $K$ , определяемым на основе базовых показателей

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \varphi_i / \sum_{i=1}^n \varphi_i, \quad (11.9)$$

где  $K_i$  - расчетный базовый показатель соответствующего класса блоков;  $\varphi_i$  - весовой коэффициент;  $i$  - порядковый номер показателя;  $n$  - число базовых показателей.

Уровень технологичности разрабатываемого изделия при известном нормативном  $K_n$  оценивают отношением достигнутого комплексного показателя к нормативному. Это отношение должно удовлетворять условию

$$K/K_n \geq 1. \quad (11.10)$$

Нормативный комплексный показатель технологичности электронных блоков

$$K_n = 0,5-0,8. \quad (11.11)$$

В качестве изделий-аналогов для определения нормативного комплексного показателя принимают наиболее современные конструкции, разработанные с учетом новейших достижений науки и техники и выпускаемые серийно. К основным способам повышения технологичности конструкции изделий можно отнести:

- а) сокращение числа деталей изделия без усложнения их конструкции;
- б) максимальное использование деталей и сборочных единиц, ранее освоенных в производстве;

- в) расчленение изделий на возможно большее число самостоятельно собираемых и взаимозаменяемых сборочных единиц;
- г) соответствие параметров точности изготовления, и качества поверхности деталей эксплуатационным требованиям изделий;
- д) компоновку, обеспечивающую удобство и простоту сборки изделия, а также доступ к его элементам при монтаже и ремонте;
- е) широкое внедрение деталей, изготавливаемых из дешевых и недефицитных материалов, а также изготавливаемых прогрессивным методом [9, 19, 25].

## 12 ВЫБОР СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭС И ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Качество работы ЭС в значительной мере определяется численными значениями **интенсивностей отказов** мощных полупроводниковых приборов, смонтированных на радиаторах. Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  является показателем безотказности, наиболее полно характеризующим надёжность неремонтируемых изделий.

Интенсивность отказов – это условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Её определяют по формуле

$$\lambda(t) = f(t) / P(t), \quad (12.1)$$

где  $f(t)$  - плотность распределения наработки до отказа.

Для основного участка, на котором изделия работают наиболее долго, интенсивность отказов  $\lambda$  не зависит от времени и средняя наработка до отказа  $T_1$  равна

$$T_1 = 1 / \lambda, \quad (12.2)$$

а формула для расчёта вероятности безотказной работы имеет вид:

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t) \quad (12.3)$$

Выражение (12.3) называют экспоненциальным законом вероятности безотказной работы. Его наиболее часто используют для расчета этой вероятности.

Интенсивность отказов мощных полупроводниковых приборов сильно увеличивается с ростом температуры  $p - n$ - переходов и с увеличением мощности  $P$ , рассеиваемой  $p - n$ - переходом. Средние значения  $\lambda_{JH}$  интенсивности отказов различных радиоэлементов для лабораторных условий в номинальном режиме приведены в литературе [4, 20] и в таблице ПА.2 приложения А настоящего пособия, а в таблице ПА.1 даны значения поправочных коэффициентов  $a_1$  для расчёта интенсивностей отказов радиоэлементов в зависимости от температуры  $t$  среды, окружающей элемент, и коэффициента нагрузки

$$k_n = P/P_n. \quad (12.4)$$

где  $P_n$  мощность, рассеиваемая  $p - n$ - переходом заданного полупроводникового прибора в номинальном режиме. Её значение находят из справочников по радиоэлементам [31].

Интенсивность отказов рассчитывают по формуле

$$\lambda_J = a_1 \cdot \lambda_{JH}, \quad (12.5)$$

Из таблицы приложения ПА.1 находим, например, что у германиевых транзисторов при  $k_n = 0,8$  при температуре  $20^\circ\text{C}$   $a_1 = 0,74$ , а при температуре  $70^\circ\text{C}$   $a_1$  возрастает до  $2,35$ , что согласно формуле (10.5) вызывает рост интенсивности отказов более чем в три раза. Из написанного выше следует, что для определения интенсивности отказов, характеризующей качество работы ЭС, нужна оценка теплового режима полупроводниковых приборов. Особенно важна оценка теплового режима для мощных полупроводниковых приборов, имеющих большие значения величины интенсивности отказов.

Для обеспечения нормального теплового режима полупроводниковых приборов вначале следует произвести **выбор способа охлаждения** конструкции ЭС. Этот выбор можно выполнить с помощью графиков (рисунок 12.1), характеризующих области целесообразного применения различных способов охлаждения. Для удобства пользования графиками необходимо из исходных данных технического задания (ТЗ) получить ряд комплексных показателей. Покажем, как использовать данные ТЗ для

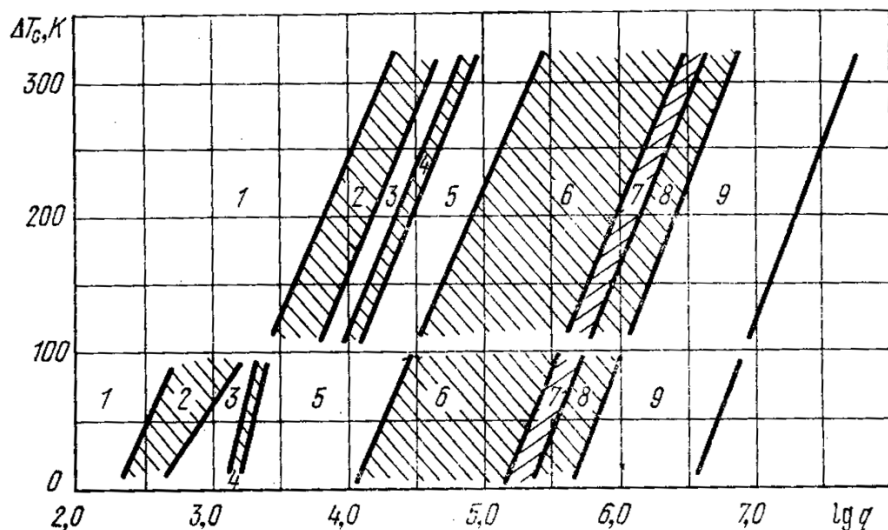


Рисунок 12.1 - Области целесообразного применения различных способов охлаждения [26]

выбора способа охлаждения. Ниже мы опишем методы определения способа охлаждения ЭС при нормальном атмосферном давлении. Для режима пониженного давления этот метод применим при введении поправочного коэффициента  $K_p$ , учитывающего давление воздуха. При нормальном атмосферном давлении  $K_p = 1$ , а для других давлений воздуха значения  $K_p$  приведены в [26]. Габаритные размеры ( $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ ) корпуса аппарата и коэффициент заполнения  $K_3$  используются для определения условной величины поверхности теплообмена

$$S_{II} = 2[L_1 L_2 + L_1 + L_2 L_3 K_3], \quad (12.6)$$

Если способ охлаждения выбирается для большого элемента, то величина поверхности теплообмена определяется из соответствующих чертежей

по геометрическим размерам поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителем.

За основной показатель, определяющий области целесообразного применения способа охлаждения, принимается величина плотности теплового потока, проходящего через поверхность теплообмена

$$q = P \cdot K_P / S_{\Pi}, \quad (12.7)$$

где  $P$  — суммарная мощность, рассеиваемая ЭС с поверхности  $S_{\Pi}$  теплообмена. Вторым показателем может служить минимально допустимый перегрев элементов ЭС

$$\Delta T_c = T_{i \min} - T_c, \quad (12.8)$$

где  $T_{i \min}$  — допустимая температура корпуса наименее теплостойкого элемента по ТЗ, т. е. элемента, для которого допустимая температура имеет минимальное значение; для больших элементов это допустимая температура охлаждаемой поверхности;  $T_c$  — температура окружающей среды; для естественного охлаждения  $T_c = T_{c \max}$ , т. е. соответствует максимальной температуре окружающей среды, заданной в ТЗ; для принудительного охлаждения  $T_c = T_{BX}$ , т. е. соответствует температуре воздуха (жидкости) на входе в ЭС;  $\Delta t_c = t_{i \min} - t_c = \Delta T_c$ . Здесь  $T$  — значения температуры, выраженные в  $K$  (система СИ), а  $t$  — значения температуры, выраженные в  $^{\circ}C$  (внесистемная единица температуры, допускаемая стандартами к применению в технической документации).

На рисунке 12.1 области целесообразного применения различных способов охлаждения приведены в координатах  $\Delta T_c$ ,  $lgq$ . Имеется два типа областей. Области, в которых можно рекомендовать применение определенного способа охлаждения, и области, в которых с примерно одинаковым успехом можно применять два или три способа охлаждения. Области первого типа не заштрихованы и относятся к следующим способам охлаждения: 1 - естественное воздушное, 3 - принудительное воздушное, 5 - принудительное жидкостное, 9 - принудительное испарительное. Области второго типа заштрихованы: 2 - возможно применение естественного и принудительного воздушного, 4 - возможно применение принудительного воздушного и жидкостного, 6 - возможно применение принудительного жидкостного и естественного испарительного, 7 - возможно применение принудительного жидкостного, принудительного и естественного испарительного, 8 - возможно применение естественного и принудительного испарительного.

Следует заметить, что верхние кривые на рисунке 12.1, соответствующие  $T_{i \min} > 373 K$  ( $\Delta T_c = \Delta t_c > 100 K = 100^{\circ}C$ ), обычно применяются для выбора способа охлаждения больших элементов, так как допустимые температуры их охлаждаемых поверхностей часто выше  $373 K$ . Нижние кривые на рисунке 12.1 применяются для выбора способа охлаждения блоков, стоек и т. п., выполненных на дискретных и микроминиатюрных элементах, так как для них обычно  $T_{i \min} < 373 K$ . Поэтому области целесообразного применения различных способов воздушного, охлаждения в верхней части графика не являются продолжением соответствующих кривых в нижней части. Последнее вызвано также и тем, что при охлаждении разветвленных поверхностей

больших элементов можно получить более высокие эффективные коэффициенты теплоотдачи.

Если показатели  $q$  и  $\Delta T_c$  рассматриваемого ЭС попадают в не заштрихованные области рисунка 12.1, то для нее сразу может быть выбран способ охлаждения, соответствующий этой области. Если же показатели РЭА попадают в заштрихованные области, где возможно применение двух или трех различных способов охлаждения, то задача выбора способа охлаждения усложняется и необходимо пользоваться дополнительными графиками.

Рассмотрим порядок выбора способа охлаждения ЭС, показатели  $q$  и  $\Delta T_c$  которой попадают в область 2 на рисунке 12.1.

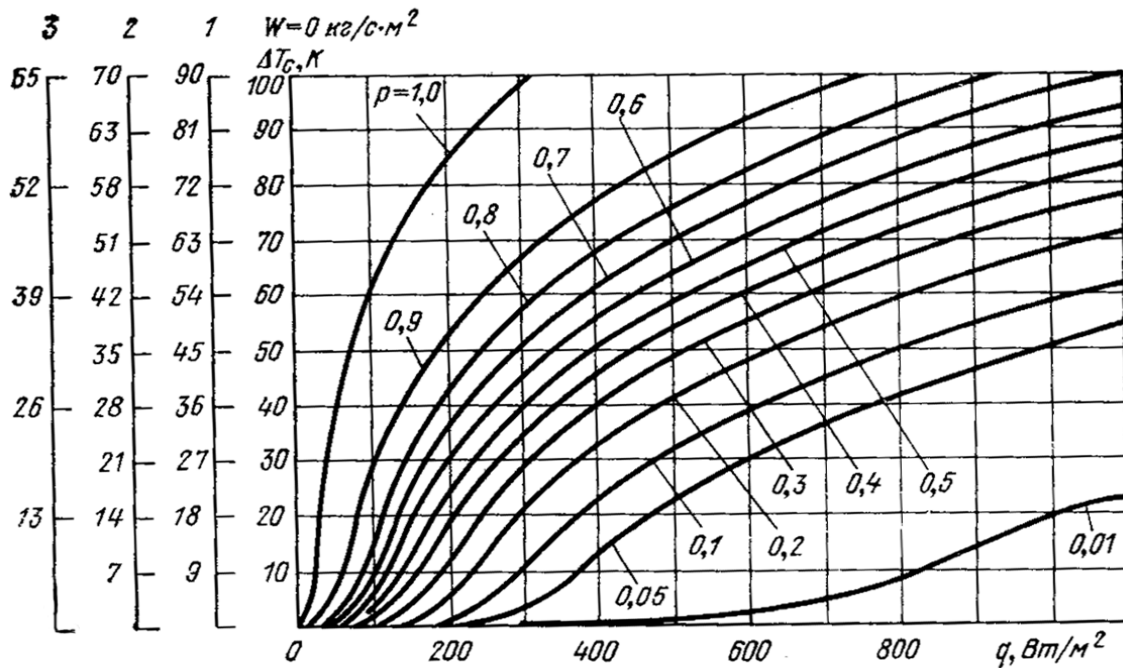


Рисунок 12.2 - Вероятностные кривые для ЭС в герметичном кожухе с естественным воздушным охлаждением и внутренним перемешиванием [26]

Для этой цели построены вспомогательные графики применительно к дискретным и микроминиатюрным элементам (рисунки 12.2 -12.5). На рисунок 12.2 представлены вероятностные кривые для ЭС в герметичном корпусе с естественным и принудительным воздушным охлаждением с внутренним перемешиванием. По осям координат отложены показатели ЭС, причем на оси ординат даны четыре шкалы для различных массовых удельных расходов (на единицу площади сечения) принудительного движения воздуха:  $W=0$  - естественное охлаждение;  $W = 1- 3 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$  - принудительное внутреннее перемешивание воздуха.

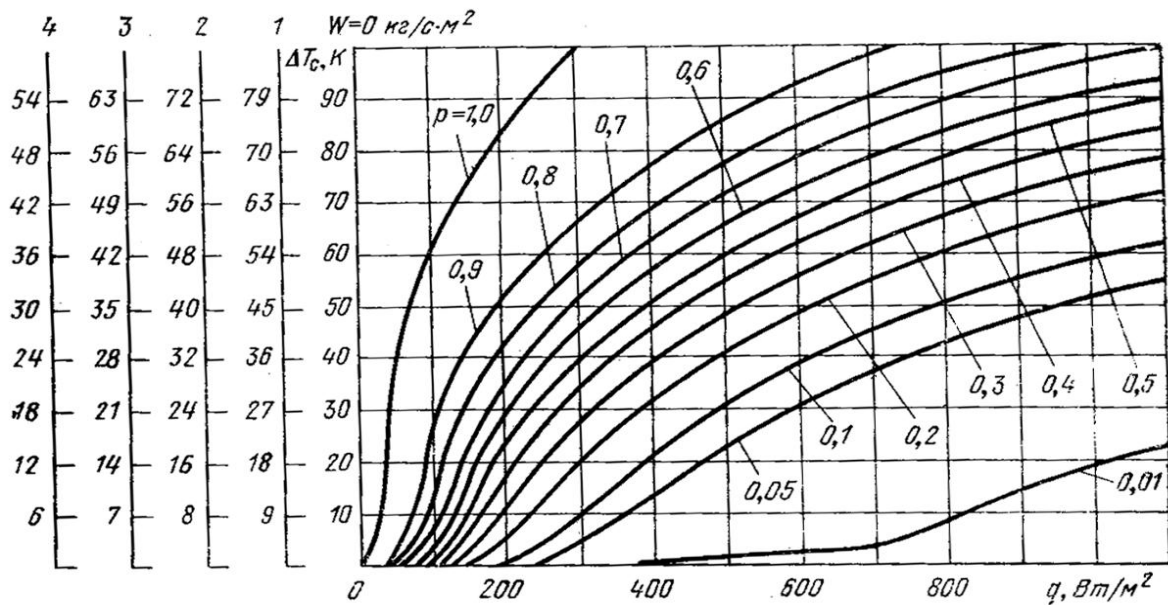


Рисунок 12.3 - Вероятностные кривые для ЭС в герметичном кожухе с естественным воздушным охлаждением и наружным обдувом [26]

На поле графика приведены различные кривые, соответствующие вероятностям  $p = 0,01 - 1,0$ . По графику можно установить для ЭС с показателями  $q$  и  $\Delta T_c$  вероятность, с которой тепловой режим будет соответствовать заданному в ТЗ, если воздушное охлаждение будет естественным или с внутренним перемешиванием в герметичном кожухе.

Например, для ЭС с показателями  $q = 600 \text{ Вт/м}^2$  и  $\Delta T_c = 60 \text{ К}$  при естественном воздушном охлаждении в герметичном кожухе вероятность обеспечения теплового режима равна 0,4, а при внутреннем перемешивании воздуха с удельным расходом  $2 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$  вероятность обеспечения теплового режима равна 0,7.

На рисунке 12.3 представлены вероятностные кривые для ЭС в герметичном корпусе с естественным и принудительным воздушным охлаждением с наружным обдувом. Смысл кривых такой же, как и на рисунке 12.2, а значения для  $W=0$  (естественное охлаждение) на обоих графиках совпадают.

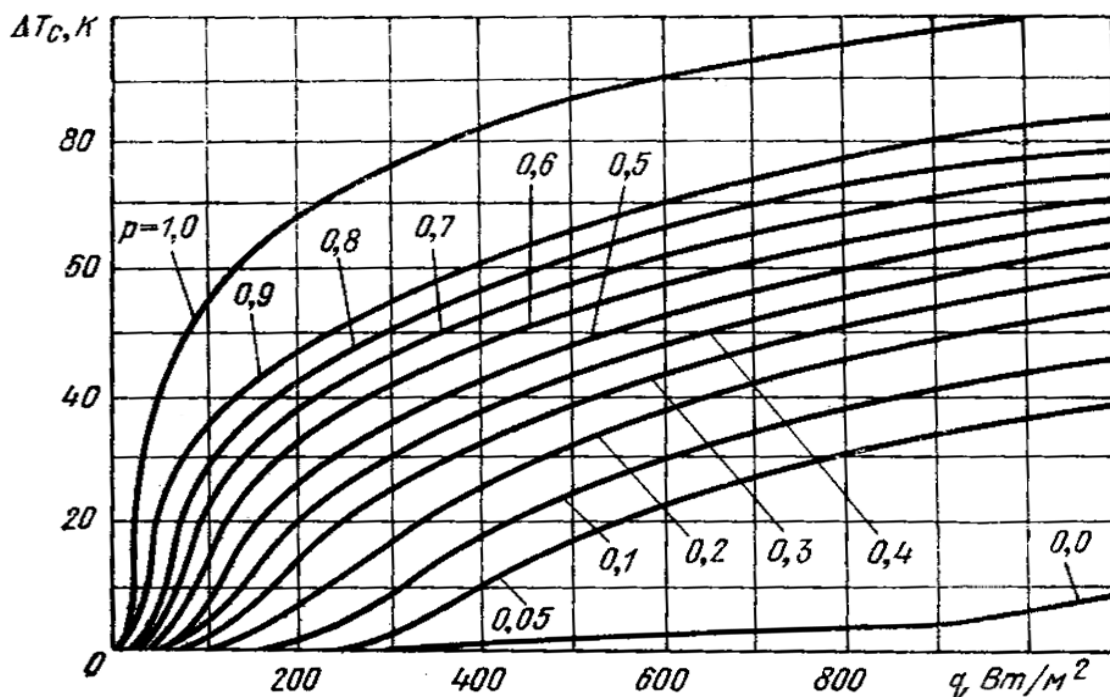


Рисунок 12.4 - Вероятностные кривые для ЭС с естественным воздушным охлаждением в перфорированном кожухе [26]

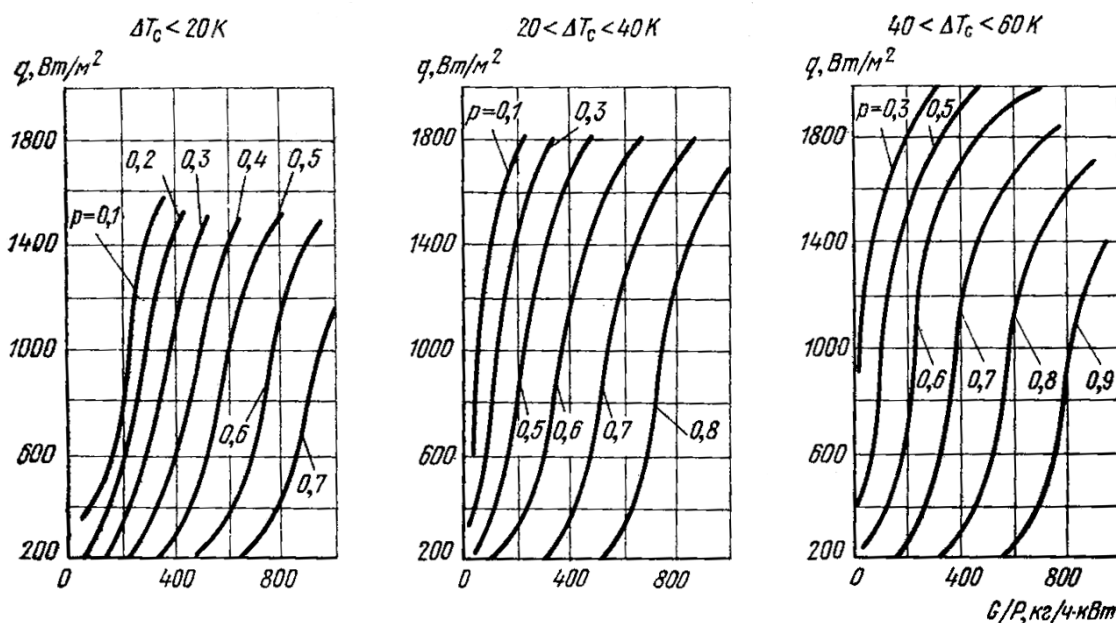


Рисунок 12.5 - Вероятностные кривые для ЭС с принудительным охлаждением продувом воздуха [26]

На рисунке 12.4 построены вероятностные кривые для ЭС с естественным воздушным охлаждением в перфорированном кожухе, на рисунке 12.5 - вероятностные кривые для ЭС с принудительным охлаждением путем продува холодным воздухом. На рисунке 12.5, в отличие от предыдущих рисунков, введен еще один показатель - массовый расход воздуха на единицу рассеиваемой РЭА мощности  $g = G / (10^{-3} \cdot P)$ . Расход воздуха на охлаждение РЭА может



быть задан в ТЗ, в противном случае необходимо пользоваться принятыми на сегодня приближенными оценками.

Таким образом, с помощью рисунков 12.2 -12.5 можно определить вероятность обеспечения теплового режима ЭС при применении различных модификаций охлаждения и, пользуясь этими оценками, сделать окончательный выбор способа охлаждения. При этом следует руководствоваться правилами:

а) если точка с, заданными параметрами на одном из графиков рисунков 12.2 - 12.5 попадает в область вероятности  $p \geq 0,8$ , можно остановиться на этом способе охлаждения;

б) если точка попадает в область с вероятностью  $0,8 > p > 0,3$ , можно выбрать этот способ охлаждения, однако при конструировании ЭС обеспечению нормального теплового режима следует уделить тем больше внимания, чем меньше вероятность;

в) при вероятностной оценке  $0,3 > p > 0,1$  не рекомендуется выбирать этот способ охлаждения. В противном случае следует уделить особое внимание обеспечению нормального теплового режима ЭС и, может быть, даже пойти на увеличение габаритов, массы и энергопотребления аппарата в целом;

г) при вероятностной оценке  $0,1 > p > 0,05$  обеспечить нормальный тепловой режим рассматриваемым способом удастся очень редко, а при  $p < 0,05$  практически невозможно.

**Пример 12.1** [26]. По техническому заданию необходимо определить способ охлаждения блока негерметичного ЭС со следующими исходными данными:  $P=0,5$  кВт;  $\Delta T_c = 30$  К,  $q = 400$  Вт/м<sup>2</sup>. Режим работы длительный. Давление воздуха, окружающего блок, атмосферное.

Точка с заданными параметрами на графике рисунка 12.1 попадает в область 2. Возможно как естественное, так и принудительное воздушное охлаждение.

По кривым рисунка 12.4 находим, что нормальный тепловой режим этого аппарата может быть обеспечен при естественном охлаждении и перфорированном кожухе с вероятностью  $p = 0,28$ . Так как вероятность обеспечения нормального теплового режима при естественном охлаждении мала и нужно уделить особое внимание его обеспечению даже в ущерб другим характеристикам РЭА, целесообразно выбрать принудительное воздушное охлаждение. По рисунка 12.5 для вероятности  $p = 0,6$  находим требуемый для обеспечения нормального теплового режима удельный расход воздуха:  $g = G / (10^{-3} \cdot P) = 240$  кг/ч·кВт, отсюда  $G = 120$  кг/ч. Этот расход воздуха соответствует приведенным выше рекомендациям.

**Пример 12.2.** По результатам, полученным в примере 12.1, выбрать малогабаритный вентилятор для блока негерметичного ЭС на 220 В 50 Гц.

Пересчитаем расход  $G = 120 \text{ кг/ч}$  в расход, выраженный в  $\text{м}^3/\text{мин}$  в производительность  $G_1, \text{м}^3/\text{мин}$ .

$$G = 120 \text{ кг/ч} = 120/60 = 2 \text{ кг/мин.}$$

$$G_1 (\text{м}^3/\text{мин.}) = G(\text{кг/мин}) / \rho(\text{кг/м}^3).$$

При температуре  $20^\circ\text{C}$  воздух имеет плотность  $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$  [37].

$$G_1 (\text{м}^3/\text{мин.}) = G(\text{кг/мин}) / \rho(\text{кг/м}^3) = 2/1,205 = 1,66 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Воспользуемся справочными данными о малогабаритных вентиляторах, выпускаемых электронной корпорацией *Jamicon*, помещёнными в таблице 12.1 [37].

Таблица 12.1 - Справочные данные о малогабаритных вентиляторах, выпускаемых электронной корпорацией *Jamicon* [37]

Тип	Производит. $G_1, \text{м}^3/\text{мин}$	Максим. размер в мм	Тип	Производит. $G_1, \text{м}^3/\text{мин}$	Максим. размер в мм
КА-0825Н2S	0,39	71,5	JA-1225Н2S	1,87	104,8
КА-0838Н2S	0,64	71,5	JA-1238Н2S	2,7	104,8
КА-1225L2S	1,3	105	JA-1238 L2S	1,75	104,8
КА-1238Н2S0	2,38	105	JA-1236Н2В	3,26	104,8
JA-0838Н2S	0,71	71,5	JA-1738Н2В	3,62	150
JA-0925Н2S	0,93	82,5	JA-1751Н2В	6,75	162
JA-0925Н2В	0,76	82,5	-	-	-

Выбираем из таблицы вентилятор типа JA-1238 L2S на  $220 \text{ В } 50 \text{ Гц}$  с  $G_1 = 1,75 \text{ м}^3/\text{мин}$  и с максимальным габаритным размером  $104,8 \text{ мм}$  Из [37] находим что он потребляет ток  $0,06 \text{ А}$ .

Конструкции некоторых импортных радиаторов для полупроводниковых приборов, поставляемых торговой фирмой *Платан* [37] и их характеристики (при отсутствии обдува) приведены в приложении *М*, а некоторые типовые конструкции радиаторов отечественной разработки [14] и их характеристики (при отсутствии и при наличии обдува) приведены в приложении *Н*. Наличие справочных значений тепловых сопротивлений радиатор - окружающая среда  $R_{p.-o.c.}$  облегчает оценку теплового режима полупроводниковых приборов, смонтированных на типовых радиаторах.

**Пример 12.3.** В блоке ЭС производительность вентилятора JA-1238 L2S на  $220 \text{ В } 50 \text{ Гц}$  равна  $G_1 = 1,75 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Общая площадь поперечного сечения кана-

лов в конструкции ЭС, через которые продувается воздух, перпендикулярная направлению воздушного потока  $S=0,01 \text{ м}^2$ . Температура воздуха  $20^\circ\text{C}$ . Площадь контакта радиатора с транзистором  $S_\kappa=2 \text{ см}^2$ . Тепловое сопротивление заданного типа кремниевого транзистора, взятое из справочника [31] равно  $R_{\text{пер-к}}=1^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Определить температуры радиатора, корпуса транзистора и коллекторного  $p-n$ - перехода. Мощность, рассеиваемая транзистором  $21 \text{ Вт}$ . Определить, работоспособен ли в этом случае транзистор на радиаторе типовой конструкции, имеющем характеристики  $R_{p-o.c.} \nu=0 \text{ м/с} = 7^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{p-o.c.} \nu=1,5 \text{ м/с} = 3,5^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_{p-o.c.} \nu=3 \text{ м/с} = 2,6^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . (см. приложение Н).

Решение:

Вычислим величину производительности вентилятора в системе СИ

$$G_1 = 1,75 \text{ м}^3/\text{мин} = 1,75/60 \text{ м}^3/\text{с} = 0,0292 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определим скорость обдува  $\nu$  (м/с) по формуле

$$\nu = G_1 / S; \quad (12.9)$$

$$\nu = 0,0292/0,01 = 2,92 \text{ м/с}.$$

Примем приближённо  $\nu \approx 3 \text{ м/с}$ . При этом  $R_{p-o.c.} \nu=3 \text{ м/с} = 2,6^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Определим температуру радиатора по формуле

$$t_p = t_{oc} + \Delta t_{p-oc} = t_{oc} + P \cdot R_{p-o.c.} \quad (12.10)$$

$$t_p = 20 + 21 \cdot 2,6 = 74,6^\circ\text{C}, \quad \Delta t_{p-oc} = 54,6^\circ\text{C}.$$

Определим температуру корпуса транзистора по формуле

$$t_\kappa = t_{oc} + \Delta t_{p-oc} + \Delta t_{\kappa-p}. \quad (12.11)$$

$$\Delta t_{\kappa-p} = P \cdot R_\kappa, \quad (12.12)$$

где  $R_\kappa$  - тепловое сопротивление контакта между транзистором и радиатором, приближённо оцениваемое по формуле [16]

$$R_\kappa \approx 2,2 / S_\kappa, \quad ^\circ\text{C}/\text{Вт}. \quad (12.13)$$

$$R_\kappa \approx 2,2/2 = 1,1^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$\Delta t_{\kappa-p} = 20 \cdot 1,1 = 22^\circ\text{C}.$$

$$t_\kappa = 20 + 54,6 + 22 = 96,6^\circ\text{C}.$$

Определим температуру коллекторного  $p-n$ - перехода транзистора по формуле

$$t_{\text{пер}} = t_{oc} + \Delta t_{p-oc} + \Delta t_{\kappa-p} + \Delta t_{\text{пер-к}}. \quad (12.14)$$

$$\Delta t_{\text{пер-к}} = P \cdot R_{\text{пер-к}}. \quad (12.15)$$

$$\Delta t_{\text{неп-к}} = 21 \cdot 1 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$t_{\text{неп}} = 20 + 54,6 + 22 + 21 = 117,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Максимально допустимая температура коллекторного *p-n*- перехода кремниевого транзистора

$$t_{\text{неп.макс.}Si} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12.16)$$

В этом случае транзистор на радиаторе типовой конструкции работоспособен, так как выполняется условие

$$t_{\text{неп}} < t_{\text{неп.макс.}Si}. \quad (12.17)$$

**Пример 12.4.** Транзистор на радиаторе, описанный в предыдущей задаче, находится в открытом воздушном пространстве при нормальном атмосферном давлении. Температура воздуха  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Какую максимальную мощность может рассеять транзистор?

Решение.

Максимальная допустимая мощность будет, когда

$$t_{\text{неп}} = t_{\text{неп.макс.}Si} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12.18)$$

$$t_{\text{неп}} = t_{oc} + P(R_{p-oc} + R_{\kappa} + R_{\text{неп-к}}). \quad (12.19)$$

Из (12.19) имеем

$$P = (t_{\text{неп}} - t_{oc}) / (R_{p-oc} + R_{\kappa} + R_{\text{неп-к}}). \quad (12.20)$$

Из предыдущей задачи имеем:  $R_{p-o.c.} \nu = 0 \text{ м/с} = 7 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ ;  $R_{\kappa} = 1,1 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ ;  $R_{\text{неп-к}} = 1 \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ . В итоге получим

$$P = (150 - 20) / (7 + 1,1 + 1) = 14,1 \text{ Вт}.$$

Расчёты тепловых режимов различных типов радиаторов нестандартных размеров более громоздки и описаны в литературе [16, 23, 24, 26, 34].

## 13 ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПО ВНЕЗАПНЫМ ОТКАЗАМ

**13.1 Нормирование значений величин вероятности безотказной работы и интенсивности отказов (ориентировочный расчёт надёжности)**

**Нормирование надёжности** – это установление в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надёжности.

Мы рассмотрим здесь лишь нормирование значений величин вероятности безотказной работы и интенсивности отказов. Такое нормирование иногда назы-

вают ориентировочным расчётом надёжности. Вероятность безотказной работы изделия (системы) рассчитывают по формулам

$$P_c \approx \prod_{i=1}^N p_i \quad (13.1)$$

где  $p_i(t)$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го узла (блока и т. п.) изделия, и

$$P_c(t) = \exp(-\lambda_c \cdot t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^N \lambda_i t\right). \quad (13.2)$$

Здесь  $\lambda_i$  - интенсивность отказов  $i$ -го узла, блока и т.п. с числом элементов расчета надежности  $n_i$ , равная

$$\lambda_i = \sum_{J=1}^{n_i} \lambda_J, \quad (13.3)$$

а  $\lambda_c$  - интенсивность отказов изделия (системы)

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \sum_{J=1}^{n_i} \lambda_J. \quad (13.4)$$

Средняя наработка до отказа изделия равна

$$T_{1c} = 1/\lambda_c = 1/\left(\sum_{i=1}^N \sum_{J=1}^{n_i} \lambda_J\right). \quad (13.5)$$

Тогда

$$P_c(t) \approx \exp\left(-t \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{J=1}^{n_i} \lambda_J\right). \quad (13.6)$$

Условия эксплуатации учитывают с помощью поправочных коэффициентов

$$\lambda_J = \lambda_{JH} \cdot k_{\lambda}, \quad (13.7)$$

где  $\lambda_{JH}$  - интенсивность отказов элементов в лабораторных условиях работы;

$$k_{\lambda} = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3} \quad (13.8)$$

Коэффициенты учитывают воздействие на РЭС:  $k_{\lambda 1}$  - ударов и вибраций;  $k_{\lambda 2}$  - температуры и влажности;  $k_{\lambda 3}$  - пониженного атмосферного давления. Их значения приведены в *таблице 13.1*.

В зависимости от назначения в ЭС используют или элементы малой стоимости с максимальными значениями интенсивности отказов  $\lambda_{J\max}$  или элементы большой стоимости с минимальными значениями интенсивности отказов  $\lambda_{J\min}$ , отличающиеся обычно в несколько раз. Помимо  $\lambda_{J\max}$  и  $\lambda_{J\min}$  в литературе [4, 18] и в приложении Л приводят средние значения интенсивности отказов  $\lambda_J$ . Поэтому вероятность безотказной работы изделия (системы)  $P_c(t)$  можно расчи-

тывать по формуле (13.6) для трёх значений интенсивности отказов:  $\lambda_J$ ,  $\lambda_{J\max}$  и  $\lambda_{J\min}$ . По этим значениям и по формуле (13.5) находят среднюю наработку до отказа изделия  $T_{1C}$ ,  $T_{1C\min}$  и  $T_{1C\max}$ .

Таблица 13.1 - Поправочные коэффициенты  $k_{\lambda 1}$ ,  $k_{\lambda 2}$  и  $k_{\lambda 3}$  для расчёта интенсивности отказов [4, 18]

Условия эксплуатации	$k_{\lambda 1}$	Влажность, %	Температура, °C	$k_{\lambda 2}$	Высота, км	$k_{\lambda 3}$
Лабораторные	1,00	60 - 70	20 - 40	1,0	0 - 2	1,0 - 1,05
Стационарные	1,07				2 - 5	1,1 - 1,14
Корабельные	1,37	90 - 98	20 - 25	2,0	5 - 8	1,16 - 1,2
Автофургонные	1,46				8 - 15	1,25 - 1,3
Железнодорожные	1,54	90 - 98	30 - 40	2,5	15 - 25	1,35 - 1,38
Самолётные	1,65				25 - 40	1,4 - 1,45

### 13.2 Окончательный расчёт надёжности невосстанавливаемых объектов с учётом режимов работы элементов

Окончательный расчёт надёжности с учётом режимов работы элементов РЭС производится на стадии технического проектирования. В расчёте принимается, что отказ любого элемента приводит к отказу всего изделия. Чаще всего, помимо общих воздействий, учтённых в ориентировочном расчёте введением коэффициента  $k_{\lambda}$ , с помощью поправочного коэффициента  $a_J$  учитывают температуру среды  $t_{CJ}$ , окружающей каждый элемент, и отличие электрической нагрузки каждого элемента  $H_J$  от номинальной  $H_{HJ}$ . Отношение  $H_J$  к  $H_{HJ}$  называют коэффициентом нагрузки

$$K_{HJ} = H_J / H_{HJ}. \quad (13.9)$$

В качестве нагрузки принимается электрический параметр, превышение которого чаще всего является причиной отказа данного элемента. У резисторов это мощность  $P$ , у конденсаторов это напряжение  $U$ , в моточных изделиях это может быть плотность тока  $J$  и т.д. Некоторые элементы могут характеризоваться несколькими коэффициентами нагрузки.

Значения поправочных коэффициентов

$$a_J = \lambda_J / \lambda_{HJ} \quad (13.10)$$

для различных элементов, температур среды  $t_{CJ}$  и коэффициентов нагрузки  $K_{HJ}$  приведены в литературе [4, 18] и в приложении Л.

Методику ориентировочного и окончательного расчётов надёжности невосстанавливаемого объекта покажем на примере самолётного вычислителя [4].

**Пример 12.5.** Эксплуатация самолётного вычислителя происходит на высоте 20 км при температуре окружающей среды 40 °C и относительной влажно-

сти 65%. С учётом этого в *таблице 3.3* приведён состав элементов их количество и режим работы. Требуется произвести ориентировочный и окончательный расчёты надёжности неремонтируемого самолётного вычислителя, определив интенсивность отказов  $\lambda_c$ , наработку до отказа изделия  $T_{1C}$  и вероятность безотказной работы изделия  $P_c(t)$  в течение наработки  $t = 100$  ч.

**Решение.**

Для каждого типа элементов из справочных таблиц [4] или из приложения *Л* определим средние значения интенсивности отказов в номинальном режиме  $\lambda_{JH}$  и поместим их в четвёртый столбец *таблицы 13.2*. Интенсивности отказов элементов с учетом условий их эксплуатации  $\lambda_J$  определим по формулам (13.7), (13.8). Из *таблицы 13.1* для рассматриваемого случая: коэффициент  $k_{\lambda 1} = 1,65$  (он учитывает механические воздействия на самолетную аппаратуру);  $k_{\lambda 2} = 1$  (при температуре +40 °C и относительной влажности 65 %);  $k_{\lambda 3} = 1,35$  (для высоты 20 км). Таким образом, формулы (13.7), (13.8) запишутся:

$$k_{\lambda} = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3} = 1,65 \cdot 1 \cdot 1,35 = 2,2275; \quad \lambda_J = \lambda_{JH} \cdot k_{\lambda} = 2,2275 \cdot \lambda_{JH}.$$

Из последнего соотношения, вычислим  $\lambda_J$  для всех типов элементов и поместим эти данные в пятый столбец *таблицы 13.2*. По данным третьего и пятого столбцов *таблицы 13.2* вычислим шестой столбец. Ориентировочное значение интенсивности отказов  $\lambda_{cop}$  самолётного вычислителя найдем суммированием значений величин в шестом столбце *таблицы 13.2*. В результате получим

$$\begin{aligned} \lambda_{cop} &= \sum_{J=1}^{n_i} n_{iJ} \cdot \lambda_J = \sum_{J=1}^5 n_{iJ} \cdot \lambda_J = \\ &= 8,92 + 35,64 + 6,68 + 3,34 + 69 \cdot 10^{-6} = 123,58 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.} \end{aligned}$$

В соответствии с формулой (13.5) определим среднее время безотказной работы устройства

$$T_{1C} = 1 / \lambda_{cop} = 10^6 / 123,58 = 8091,92 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы в течение наработки  $t = 100$  ч определим по формуле :

$$\begin{aligned} P_c(t) &= \exp(-\lambda_{cop} \cdot t) = \exp(-123,58 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = \exp(-0,012358) = \\ &= 0,988824. \end{aligned}$$

Оценим теперь основные показатели надёжности самолётного вычислителя с учетом режимов работы его элементов, приведенных в седьмом и восьмом столбцах *таблицы 13.2*. Для каждого типа элемента и соответствующего ему режима из справочных таблиц [4] выпишем значения поправочных коэффициентов  $a_J$  и поместим их в девятый столбец *таблицы 13.2*. Для строк 1, 4 и 5 значения коэффициентов  $a_J$  отсутствуют в справочных таблицах. Поэтому мы принимаем их условно равными единице (т.е. элементы системы, обозначенные строками 1, 4 и 5, участвуют в уточненном расчете лишь в той мере, как это было в ориентировочном расчете).

Вычислим произведение  $n_i \cdot \lambda_J \cdot a_J$  (перемножением шестого и девятого столбцов *таблицы 13.2*) и поместим его значения в десятый столбец. Оконча-

тельное значение интенсивности отказов  $\lambda_{\text{СОК}}$  самолётного вычислителя найдем по формуле (13.4). Оно равно сумме цифр в десятом столбце таблицы.

$$\lambda_{\text{СОК}} = \sum_{J=1}^5 n_{iJ} \cdot \lambda_J \cdot a_J = 8,92 + 30,29 + 3,41 + 3,34 + 69 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 114,96 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

В соответствии с формулой (13.5) определим окончательное значение среднего времени безотказной работы устройства

$$T_{1\text{СОК}} = 1 / \lambda_{\text{СОК}} = 10^6 / 114,96 = 8698,68 \text{ ч.}$$

Окончательное значение вероятности безотказной работы в течение наработки  $t = 100$  ч определим по формуле (13.2):

$$P_{\text{СОК}}(t) = \exp(-\lambda_{\text{СОК}} \cdot t) = \exp(-114,96 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = \exp(-0,011496) =$$

$$= 0,988567.$$

Таблица 13.2- Пример ориентировочного и окончательного расчётов интенсивности отказов  $\lambda_{\text{С}}$  неремонтируемого объекта (самолётного вычислителя) с использованием табличной формы

Номер группы элемента $J$	Тип элементов	Число элементов $n_{iJ}$	Интенсивность отказов $\lambda_{JH}, 10^{-6}$ 1/ч	Интенсивность отказов $\lambda_J, 10^{-6}$ 1/ч	$n_{iJ} \cdot \lambda_J, 10^{-6}$ 1/ч	Коэффициент нагрузки $K_{HJ}$	Температура $t_{CJ}, ^\circ\text{C}$	Поправочный коэффициент $a_J$	$n_{iJ} \cdot \lambda_J \cdot a_J, 10^{-6}$ 1/ч
1	Полупроводниково-вые ИС	200	0,02	0,045	8,92	0,8	60	1,00	8,92
2	Транзисторы кремниевые. низкочастотные	4	4	8,910	35,64	0,8	60	0,85	30,29
3	Резистор МЛТ-0,5	6	0,5	1,114	6,68	0,4	40	0,51	3,41
4	Соединитель 50-контактный	3	0,01-50	1,114	3,34	1,0	50	1,00	3,34
5	Соединения	3000	0,01	0,023	69	-	50	1,00	69,00



Номер группы элемента $J$	Тип элементов	Число элементов $n_{iJ}$	Интенсивность отказов $\lambda_{iJ}, 10^{-6}$ 1/ч	Интенсивность отказов $\lambda_J, 10^{-6}$ 1/ч	$n_{iJ} \cdot \lambda_J,$ $10^{-6}$ 1/ч	Коэффициент нагрузки $K_{HJ}$	Температура $t_{cJ}, ^\circ\text{C}$	Поправочный коэффициент $a_J$	$n_{iJ} \cdot \lambda_J \cdot a_J,$ $10^{-6}$ 1/ч
	пайкой								

## ЛИТЕРАТУРА

1. Политехнический словарь/Под ред. акад. И. И. Артоболевского. – М.: Сов. энциклопедия, 1977.
2. Конструирование радиоэлектронных средств / В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. — М.: Изд-во МАИ, 1996.
3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. – М.: Высшая школа, 1990.
4. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА, - М.: Радио и связь, 1983.
5. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования /Под ред. Р.Г.Варламова.- М.: Сов. радио ,1980.
6. Фрумкин Г. Д. Расчёт и конструирование радиоаппаратуры– М.: Высшая школа, 1989.
7. Чернышев А.А. Основы конструирования и надежности электронных вычислительных средств: Учеб. для вузов. — М.: Радио и связь, 1998.
8. Конструирование и производство радиоаппаратуры /Под ред. А.К.Майера. - Томск. ун-та, 1984.
9. Савельев М. В. Конструкторско – технологическое обеспечение производства ЭВМ. - М.: Высш. шк ., 2001.
10. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры,- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1984.
11. Разработка и оформление конструкторской документации. Справочник / Под ред. Э.Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989.
12. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. - М.: Высш. шк ., 1986.
13. Поставки электронных компонентов. Каталог. - Екатеринбург: Пром-электроника, 2005.
14. Чернышев А.А. и др. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники. - М.: Энергия, 1980.
15. Захаренко С. К. Тепломассообмен в РЭА. – М.: МИРЭА, 1980.
16. Краткий справочник конструктора РЭА./ Под ред. Р. Г. Варламова. – М.: Сов. Радио, 1972.

17. Стешенко В.Б. EDA. Практика проектирования радиоэлектронных устройств. – М.; Издатель Молгачева С.В., Издательство «Нолидж», 2002.
18. Козлов В. Г. Теория надежности. Томск: ТУСУР, 2004.
19. Ушаков Н.Н. Технология производства ЭВМ.- М.: Высшая школа, 1991.
20. Козлов В. Г., Бацула А. П., Кобрин Ю. П. Основы проектирования электронных средств. Общие принципы проектирования. Томск: ТУСУР, 2005.
21. Алексеев В. П., Тарасенко Ф.П. Системный анализ в дипломном проектировании. – Томск: ТУСУР, 1997.
22. ГОСТ Р 52003-2003. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения. ГОСТ 26632-85. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств по функционально- конструктивной сложности. Термины и определения.
23. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре- М.: Высш. шк ., 1984.
24. Козлов В. Г., Гольдштейн Е. И. Практикум по тепломассообмену в РЭА. Часть 2. – Томск: изд. ТГУ, 1983.
25. Козлов В. Г., Кондаков А. К. Конструирование радиоэлектронных средств. Часть 5. – Томск: ТИАСУР, 1993.
26. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. . Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА- М.: Сов радио, 1976.
27. Алексеев В. П., Озёркин Д. В. Системный анализ и методы научно-технического творчества.- Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2003.
28. Философский энциклопедический словарь/Под ред. акад. Л. Ф. Ильичёва и др. – М: Сов. энциклопедия, 1983.
29. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надёжность /Под ред. Р.Г.Варламова.- М.: Радио и связь, 1985.
30. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры. Под ред. Б.Ф. Высоцкого. – М.: Сов. радио, 1978.
31. Масленников М. Ю. и др. Справочник разработчика и конструктора РЭА. – М.: Энергоатомиздат, 1993.
32. Кобрин Ю.П. Основы проектирования РЭС. Конспект лекций. Ч.1: Основы схемотехнического проектирования РЭС.– Томск: ТУСУР, 2004.
33. Чернышёв А. А. Основы проектирования РЭС: Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. пос. с опорными сигналами. – Томск: ТУСУР, 2002.
34. Захаренко С. К., Козлов В. Г. Тепловые режимы РЭА и их обеспечение. – М.: МИРЭА, 1981.
35. Поверхностный монтаж. Электронные компоненты. Краткий каталог. – М.: ЗАО ОСТЕК, 2000.
36. Козлов В. Г. Элементная база. Под ред. Шурочкова. – М.: Издательство стандартов, 1993.
37. Электронные компоненты. Каталог. – М.: Платан, 2006.
38. Мельников В. Г., Казанов Л. С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. – М.: Высшая школа, 1978.

39. Федеральный закон о техническом регулировании № 184-З.- М.: 2002.
40. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П.И. Овсищер, Ю.В. Голованов, В.П. Ковешников и др.; Под ред. П.И. Овсищера. — М.: Радио и связь, 1988.
41. ГОСТ Р 51676—2000. Конструкции несущие базовые радиоэлектронных средств. Термины и определения.
42. ГОСТ Р 51623—2000. Конструкции несущие базовые радиоэлектронных средств. Система построения и координатные размеры.
43. ГОСТ 20504-81. Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры.
44. ГОСТ 25122-82. Единая система электронных вычислительных машин. Конструкции базовые технических средств. Основные размеры.
45. ГОСТ 28601.1-90. Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Панели и стойки. Основные размеры.
46. ГОСТ 28601.2-90. Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Шкафы и стоечные конструкции. Основные размеры.
47. ГОСТ 28601.3-90. Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Каркасы блочные и частичные подвижные. Основные размеры.
48. Корпуса и шкафы для электронного оборудования Schroff. Каталог. — М.: Прософт, 2001.
49. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. — М.: Радио и связь, 1988.
50. ГОСТ Р ИСО 9000—2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
51. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения.
52. Гиссин В. И. Управление качеством продукции.- Ростов-на-Дону: Феникс, 2000.
53. Советский энциклопедический словарь/Под ред. акад.А. М. Прохорова.- М.: СЭ, 1990.
54. ГОСТ Р ИСО 9001—2001 Системы менеджмента качества. Требования.
55. ГОСТ Р ИСО 9004—2001 Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.

## Приложение А - Образец бланка задания на проектирование

Министерство по образованию и науке Российской Федерации

### ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра конструирования и технологии производства  
радиоаппаратуры (КИПР)

#### **ЗАДАНИЕ**

**на курсовое проектирование по дисциплине  
«Основы проектирования электронных средств»**

Студенту \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

1. **Тема проекта** \_\_\_\_\_
2. **Исходные данные к проекту:**
  - 2.1. Электрическая принципиальная схема устройства.
  - 2.2. Условия эксплуатации:
  - 2.3. Программа выпуска:
  - 2.4. Срок службы устройства:
  - 2.5. Требования к конструкции:
3. **Содержание пояснительной записки:**
  - 3.1. Техническое задание на курсовой проект.
  - 3.2. Введение.
  - 3.3. Анализ электрической схемы проектируемого устройства.
  - 3.4. Анализ и обоснование конструкции изделия.
  - 3.5. Расчёт массогабаритных параметров устройства и координаты центра тяжести.
  - 3.6. Расчет собственной частоты печатного узла устройства.
  - 3.7. Расчет показателей технологичности.
  - 3.8. Выбор способа охлаждения конструкции ЭС и оценка теплового режима полупроводниковых приборов, (в случае наличия теплонагруженных элементов).
  - 3.9. Расчет надежности изделия.
  - 3.10. Заключение.
  - 3.11. Список использованных источников.
4. **Перечень графического материала:**
  - 4.1. Сборочный чертёж конструкции всего изделия.
  - 4.2. Спецификация к сборочному чертежу.
  - 4.3. Принципиальная электрическая схема устройства.
  - 4.4. Перечень элементов принципиальной схемы.
  - 4.5. Чертеж сборочной единицы конструкции изделия.
  - 4.6. Спецификация сборочной единицы.
  - 4.7. Электромонтажный чертеж устройства.
  - 4.8. Чертеж детали устройства с надписями (лицевая панель).
  - 4.9. Чертеж детали.

Срок сдачи студентом законченного проекта \_\_\_\_\_

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ /Фамилия преподавателя/

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ /Фамилия студента/

*Приложение Б - Пример технического задания на курсовое проектирование*

Министерство по образованию и науке Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры (КИПР)

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

На разработку конструкции защитного устройства  
для электродвигателя РКФ КП.421421.005 ТЗ

Выполнил:

Студент гр.

.....  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2006 г.

Согласовано:

Ст. преп. каф. КИПР

.....  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2006 г.

2006

## 1 Наименование и область применения

Устройство защиты электродвигателя РКФ КП.421421.005 применяется для плавного пуска коллекторного электродвигателя последовательного возбуждения с защитой его от перегрузки и перегрева.

## 2 Основание для разработки

Задание на курсовое проектирование по курсу «Основы проектирования электронных средств», ТУСУР, кафедра КИПР, 1. 09. 2006 г.

## 3 Цель и назначение разработки

Разработка имеет целью создание конструкции устройства защиты электродвигателя, предназначенное для работы в составе комплекса стационарной аппаратуры, обеспечивающее защиту двигателя от перегрузки и перегрева.

## 4 Источники разработки

Компакт-диск «Радиолюбитель» номер 1.

## 5 Технические требования

### 5.1 Состав изделия и требования к конструктивному устройству

Устройство защиты электродвигателя должно быть выполнено в виде частичного блока системы универсальной несущих конструкций (УТК). Масса и габаритные размеры уточняются в процессе разработки и согласовываются с заказчиком на стадии эскизного проектирования.

### 5.2 Показатели назначения

- Устройство защиты электродвигателя питается от сети 220 в 50 Гц;
- Мощность двигателя, подвергаемого защите, 130 – 140 Вт.

### 5.3 Требования к надежности

Срок службы изделия 1000 часов. Время непрерывной работы – 150 ч.

### 5.4 Требования к технологичности

Общая трудоемкость изделия должна быть минимальной; уточняется в процессе разработки и изготовления макетов на стадии разработки рабочей документации опытного образца.

### 5.5 Требования к уровню унификации и стандартизации

В изделии должны быть максимально использованы стандартные конструктивные решения, предусмотренные системой УТК. Разработка и применение оригинальных деталей подлежат согласованию с заказчиком. Показатели стандартизации и унификации изделия (коэффициент применяемости, коэффициент повторяемости) определяются на стадии разработки рабочей документации опытного образца.

### 5.6 Требования к безопасности

Конструкция устройства должна соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.007.0-75.

## 5.7 Эстетические и эргономические требования

Компоновка органов управления и контроля, расположенные на передней панели устройства защиты, должна соответствовать современным требованиям эргономики и технической эстетики.

## 5.8 Требования к патентной частоте

Изделие должно быть патентно-чистым в отношении Германии.

## 5.9 Требования к составным частям и материалам

Полупроводниковые ЭРЭ общего применения, используемые в устройстве должны соответствовать перечню полупроводниковых ЭРЭ, разрешенных к применению в новых разработках. В конструкции не должны использоваться драгоценные материалы.

## 5.10 Условия эксплуатации

Устройство защиты двигателя должно устойчиво работать при следующих внешних воздействиях по ГОСТ 16962-71:

- По вибрационным нагрузкам (диапазон частот 1-35 Гц, максимальное ускорение 0,5g).
- По ударным многократным нагрузкам (ускорение не более 15g, длительность удара 40-60 мс).
- По одиночным ударным нагрузкам (ускорение не более 4g, длительность удара 2-15 мс).
- По линейным (центробежным) нагрузкам (ускорение 10g).
- По температуре воздуха при эксплуатации верхнее значение (40°C).
- По температуре воздуха при эксплуатации нижнее значение (1°C).
- По температуре воздуха при транспортировке и хранении верхнее значение (+50°C).
- По температуре воздуха при транспортировке и хранении нижнее значение (-50°C).
- По воздействию пониженного атмосферного давления (525 мм. рт. ст.).
- По воздействию повышенного атмосферного давления (1,5 кгс/см<sup>2</sup>).
- По воздействию влаги (до 65% при t=20°C влаги, в течение 12 месяцев).

## 5.11 Требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению

Уточняются на последующих стадиях разработки.

## 6 Экономические показатели

- Предлагаемая программа 250 шт/год.
- Себестоимость устройства должна быть минимально возможной и подлежит обоснованию в процессе разработки.

## 7 Стадии и этапы разработки

Стадия разработки – технический проект. Содержание и сроки выполнения этапов приведены в таблице.

Содержание этапов работы	Срок отчётности	Отчётность
1. Корректировка и оформление ТЗ		Чистовик ТЗ
2. Конструкторская доработка и оформление схемы электрической принципиальной с перечнем элементов		Схема электрическая принципиальная, перечень элементов
3. Выполнение сборочного чертежа в тонких линиях и черновика раздела "Конструкторский анализ электрической схемы устройства и требований ТЗ"		Сборочный чертёж в тонких линиях и черновик раздела конструкторского анализа схемы.
4. Полное оформление сборочного чертежа и спецификации изделия		Законченный сборочный чертёж изделия и его спецификация
5. Оформление конструкторской документации для электромонтажа. Подготовка черновика раздела "Описание и обоснование конструкции"		Оформленная конструкторская документация для электромонтажа и черновик раздела обоснование конструкции.
6. Оформление чертежа сборочной единицы и спецификации к ней. Расчет массо – габаритных показателей изделия		Законченный сборочный чертёж сборочной единицы изделия и его спецификация.
7. Оформление черновика ПЗ к изделию и чертежа детали с надписями. Расчет вибростойкости функционального узла изделия.		Черновик ПЗ, чертёж детали с надписями, два расчета.
8. Доработка и оформление чистовика ПЗ и чертежа второй детали. Расчет надежности конструкции изделия.		Готовая ПЗ, чертёж 2-й детали, третий расчет.
9. Полное оформление и сдача курсового проекта на проверку		Полное оформление проекта
10. Защита курсового проекта		

## 8 Порядок контроля и приема

Приемка работы производится по результатам защиты курсового проекта. Дата, время и место защиты сообщаются разработчику по окончании экспертизы проекта.



## Приложение В - Обозначения электрорадиоэлементов

Таблица - Буквенные обозначения (коды) электрорадиоэлементов [11]

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
<i>A</i>	Устройство (общее обозначение): усилители, приборы телеуправления и т. п.		
<i>B</i>	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот; аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель Магнотриксционный элемент Детектор ионизирующих излучений Сельсин-приемник Телефон (капсюль) Сельсин-датчик Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукосниматель Датчик скорости	<i>BA</i> <i>BB</i> <i>BD</i>  <i>BE</i> <i>BF</i> <i>BC</i> <i>BK</i> <i>BL</i> <i>BM</i> <i>BP</i> <i>BQ</i> <i>BR</i> <i>BS</i> <i>BV</i>
<i>C</i>	Конденсаторы		
<i>D</i>	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки	<i>DA</i> <i>DD</i>  <i>DS</i> <i>DT</i>
<i>E</i>	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная	<i>EK</i> <i>EL</i>
<i>F</i>	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия То же инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	<i>FA</i>  <i>FP</i> <i>FU</i> <i>FV</i>
<i>G</i>	Генераторы, источники питания	Батарея	<i>GB</i>
<i>H</i>	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации	<i>HA</i> <i>HG</i> <i>HL</i>

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
<i>K</i>	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения	<i>KA</i> <i>KH</i> <i>KK</i> <i>KM</i> <i>KT</i> <i>KV</i>
<i>L</i>	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	<i>LL</i>
<i>M</i>	Двигатели		
<i>P</i>	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер (примечание: сочетание PE не допускается) Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени действия Вольтметр Ваттметр	<i>PA</i> <i>PC</i> <i>PF</i>  <i>PI</i> <i>PK</i> <i>PR</i> <i>PS</i> <i>PT</i> <i>PV</i> <i>PW</i>
<i>Q</i>	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание, оборудование и т. д.)	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	<i>QF</i> <i>QK</i> <i>QS</i>
<i>R</i>	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор	<i>RK</i> <i>RP</i> <i>RS</i> <i>RU</i>
<i>S</i>	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический (для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей) Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения от температуры	<i>SA</i>  <i>SB</i> <i>SF</i>   <i>SL</i> <i>SP</i> <i>SQ</i> <i>SR</i> <i>SK</i>
<i>T</i>	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока Электромагнитный стабилизатор Трансформатор напряжения	<i>TA</i> <i>TS</i> <i>TV</i>
<i>U</i>	Устройства связи	Модулятор	<i>UB</i>

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
	Преобразователи электрических величин в электрические	Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	<i>UR</i> <i>UI</i> <i>UZ</i>
<i>V</i>	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон Прибор электровакуумный Транзистор Тиристор	<i>VD</i> <i>VL</i> <i>VT</i> <i>VS</i>
<i>W</i>	Линии и элементы СВЧ, антенны	Ответвитель Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор, неоднородность, фазовращатель Аттенюатор Антенна	<i>WE</i> <i>WK</i> <i>WS</i> <i>WT</i>  <i>WU</i> <i>WA</i>
<i>X</i>	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный	<i>XA</i> <i>XP</i> <i>XS</i> <i>XT</i> <i>XW</i>
<i>Y</i>	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плита	<i>YA</i> <i>YB</i>  <i>YC</i>  <i>YH</i>
<i>Z</i>	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель Фильтр кварцевый	<i>ZL</i> <i>ZQ</i>

Приложение Г - Физические параметры некоторых материалов

Таблица - Физические параметры некоторых материалов

Материал	Параметры материала				
	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости $E \cdot 10^{-9}$ , Па	Коэффициент Пуассона $\epsilon$	Предел проч- ности при из- гибе $\sigma \cdot 10^{-6}$ , Па	Коэффициент демпфиро- вания $\delta_0$
Сплавы алюми- ния: Д1, Д16, В95, АМц, АЛ2, АЛ9, АД1	2,8 2,76 2,85 2,73 2,65 2,65 2,71	71 71 71 71 71 72 69,6	0,29 0,29 0,29 0,29 0,29 0,29 0,29	410 520 560 520 180 200 580 520	0,05...0,013 0,004..0,0085
Сплавы титана: ВТ1-0, ВТ3	4,4...4,9	105	0.25...0.33	950	
Сплавы магни- евые: МА18, МА2-1	1,48 1,8	45 46		180 280	0,0063...0,0125
29НК (ковар)	8,35	145		480	
Сталь 20, Сталь 45	7,82	200	0,25	420...610	
ЗОХГСА	7,85	198	0,36	1080	
Бронза	8,27	75...141	0,31	200... 1350	
Латунь	8,5	106..110	0,41	320...700	0,03...0,06
Ситалл СТ50-1	2,65	180	0,26	176	
Керамика 22ХС	3,86	255	0,26	85	
Брокерит-9	2,83	320		100	
Поликор	3,98	392	0,26	200	
Фторопласт-4	2,25	0,47...0,85	22		
Стеклотекстолит: СФ, СТЭФ	1,85 2,47	30,2 32	0,22 0,279	75 75	0,02.. .0,1 0,02...0,1
Гетинакс	1,4		11... 14		0,03...0,08

Приложение Д - Параметры изоляционных материалов

Название	Марка	ТУ, ГОСТ	Толщина, мм	Применение
Гетинакс фольгированный гальваностойкий	ГФ1, ГФ2	ГОСТ 10316-78	1,0 ... 3,0	ПП для широкого применения до 85°C
Гетинакс фольгированный общего назначения гальваностойкий	ГОФ1, ГОФ2	ТУ 16-503.195-83	1,0 ...3,0	ПП для широкого применения до 85°C
Гетинакс фольгированный общего назначения влагостойкий	ГОФВМ2 ГОФВМ1	ТУ 16-503.195-83	1,0 ... 3,0	ПП для широкого применения до 85°C
Стеклотекстолит фольгированный гальваностойкий	СФ1, СФ2	ГОСТ 10316-78	0,5 ...3,0	ПП с повышенными диэлектрическими свойствами до 85° С
Стеклотекстолит фольгированный нагревостойкий	СФ1Н, СФ2Н	ГОСТ 10316-78	0,5 ... 3,0	ПП с повышенными Диэлектрическими свойствами до 100°C
Стеклотекстолит фольгированный общего назначения негорючий	СОНФ1 СОНФ2	ТУ 16-503.204-80	0,5 ...3,0	ПП для ЭС широкого применения до 85°C
Диэлектрик фольгированный тонкий (нетравящийся)	ФДМ1, ФДМ2 ФДМЭ1, 2	ТУ 16-503.084-77	0,2 ...0,35 0,1 ... 0,15	МПП для микроэлектроники
Диэлектрик фольгированный травящийся	ФТС1, ФТС2	ТУ 16-503.154-76	0,08 ... 0,5	МПП с помощью метода сквозных отверстий
Стеклотекстолит фольгированный теплостойкий	СТФ1, СТФ2	ТУ 16-503.161-83	0,1 ... 3,0	Изготовление ПП и МПП различными методами
Стеклотекстолит теплостойкий для полуаддитивной технологии	СТПА-5-1 СТПА-5-2	ТУ 16-503.200-80	0,1 ...2,0	Изготовление ПП и МПП методами полуаддитивной технологии
Стеклотекстолит листовой с адгезионным слоем	СТЭК	ТУ 16-503.202-83	0,3 ... 3,0	Изготовление ПП по аддитивной технологии
Слофадит	—	ТУ 16-503.202-83	0,3 ...3,0	Изготовление ПП с плотным монтажом до 120°C
Лавсан фольгированный	ЛФ1, ЛФ2	ТУ 16-503.196-80	0,115... 0,18	Для МПП и гибких ПП до 85°C
Полиимид фольгированный	ПФ1, ПФ2	ТУ 16-503.208-81	0,05 ... 0,125	Для МПП и гибких ПП до 250°C

### Приложение Е - Параметры конструкционных материалов

Сплав	$\sigma_B$ , МПа	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{уд}$	$E_{уд}$	$K_{общ}$
МА18	185	45	1,5	123	30	3690
МА21	240	46	1,5	160	30,6	4896
МЦИ	170	40	1,9	94	21	1978,9
МАС	280	42	1,78	123	23,5	2890,5
МА2-1	270	43	1,78	151,6	24,1	3653,6
МА2	260	43	1,79	145,2	24	3484,8
МЛ4	250	42	1,83	136,6	22,9	3135,0
МЛ6	250	42	1,81	138,1	23,2	3204,5
МЛ9	250	42	1,76	142,0	23,8	3388,6
МЛ 10	226	41	1,78	126,9	23,0	2922,9

### Приложение Ж - Параметры сплавов

Сплав	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$E$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$E_{уд}$	$\sigma_{уд}$	$K_{общ}$
АМц	2,73	70	170	25,6	62,27	159,41
АМг2	2,68	71	190	26,49	70,89	1878,0
Д16	2,8	72	360	25,71	128,5	3305,5
Д16Т	2,8	72	460	25,71	164,28	4223,78
Д19	2,76	70	480	25,36	173,9	4399,99
АД31	2,71	71	250	26,2	92,25	2416,9
АД33	2,71	71	140	26,2	51,66	1353,5
АВ	2,70	71	350	26,3	29,6	3409,2
АК6	2,75	72	378	26,8	137,4	4525,7
АК8	2,80	74	480	26,40	171,4	4525,7
1420	2,47	75	450	30,36	182,2	5531,1
АЛ2	2,65	70	190	26,4	71,70	1892,8
АЛ4	2,65	70	290	26,40	199,4	2889,0
АЛ9	2,66	70	230	26,30	86,4	22274,8
ВАЛ8	2,73	72	410	26,30	150,18	3942,2
АЛ32	2,65	71	280	26,79	105,60	2831,7
АЛ27	2,55	70	360	27,45	141,1	3879,2
АЛ 24	2,74	69	310	25,18	113,1	2848,8

Приложение 3 - Материалы для изделий с электромонтажом

Материал	Нормативно-технический документ
Бирки маркировочные для проводов и жил кабелей	ОСТ 4 ГО.882.200-81
Бумага кабельная марок К-080; К-120; КМП-120	ГОСТ 23436-83
Бумага конденсаторная марки КОН	ГОСТ 1908-82
Картон электроизоляционный ЭВ	ГОСТ 2824-86
Картон прокладочный	ГОСТ 9347-74
Клей БФ-2 и БФ-4	ГОСТ 12172-74
Клей ЛН	ОСТ 4 ГО.029.204
Клей ВК-9	ОСТ 4 ГО.029.204
Клей 88НП	ТУ 38-105.540-73
Компаунд «Виксинт ПК-68»	ТУ 38-103.508-81
Краски маркировочные специальные БМ, КМ, СМ, ЧМ, ЗМ, ЖМ	ТУ 29-02-859-78
Лак МЛ-92	ГОСТ 15865-70
Лак НЦ-134	ТУ 6-10-1291-77
Лак НЦ-132	ГОСТ 6631-74
Лак НЦ-62	ОСТ 6-10-391-74
Лакоткань электроизоляционная марки ЛШМ	ГОСТ 2214-78
Ленты асбестовые электро- и теплоизоляционные	ГОСТ 14256-78
Лента липкая маркировочная	ТУ 6-05-1240-76
Лента поливинилхлоридная электроизоляционная ПВХ	ГОСТ 16214-86
Мастика У-9м	ОСТ 92-0948-74
Нитки швейные хлопчатобумажные	ГОСТ 6309-80
Припой ПОС-61	ГОСТ 21931-76
Провода монтажные с изоляцией из спекаемой пленки	ТУ 16-505.083-78
Провода монтажные теплостойкие с изоляцией из фторопласта	ТУ 16-505.185-71
Провода монтажные с пленочной или волокнистой и полихлорвиниловой изоляцией(МГШВ, МГШВЭ)	ТУ 16-505-437-82
Проволока медная	ГОСТ 2112-79
Смазка ЦИАТИМ-201	ГОСТ 6267-74
Смазка ВНИИ НП-248	ТУ 38 101643-76
Стеклоткань электроизоляционная	ГОСТ 10156-78
Стеклотекстолит	ГОСТ 12652-74

Трубки из поливинилхлоридного пластика Эмаль МЛ-12 Эмаль МЛ-165, МЛ-165ПМ, МС-160 Эмаль НЦ-25 Эмаль ЭП-51 Эмаль ЭП-572 Эмаль ПФ-19, ПФ-19М Эпоксидный компаунд ЭКЗ-6	ГОСТ 19034-82  ГОСТ 9754-76 ГОСТ 12034-77 ГОСТ 5406-84 ГОСТ 9640-85 ТУ 6-10-1539-76 ТУ-10-1294-78 ОСТ 4 ГО.029.003
---	--

*Приложение И. Фольгируемые материалы для печатных плат*

Наименование	Марка	Наименование	Марка
Стеклотекстолит фольгированный толщиной 0,5...3,0мм	СФ-1-35Г СФ-2-35Г СФ-1-50Г СФ-2-50Г	Стеклотекстолит нагревостойкий фольгированный толщиной 0,5...3,0 мм	СФ-1Н-35Г СФ-1Н-50Г СФ-2Н-50Г СФ-2Н-50Г

*Приложение К - Фольгированные диэлектрики для изготовления гибких печатных кабелей (ОСТ 4.010.022-85).*

Наименование	Марка	Область применения
Стеклотекстолит фольгированный повышенной нагревостойкости	СФПН-1-50 СФПН-2-50	ОПП, ДПП с повышенной нагреваемостью
Стеклотекстолит фольгированный травящийся	ФТС-1-18-А ФТС-2-18-А ФТС-1-18-Б ФТС-2-18-Б	МПП, гибкие печатные платы
Диэлектрик фольгированный тонкий	ФДМ-1А ФДМ-2А ФДМ-1Б ФДМ-2Б ФДМЭ-1А ФДМЭ-2А ФДМЭ-1Б ФДМЭ-2Б	МПП



Гетинакс фольгированный общего назначения	ГОФ-1-35Г ГОФ-2-35Г ГОФВМ-1-35Г ГОФВМ-2-35Г	ОПП
Стеклотекстолит общего назначения негорючий фоль- гированный	СОНФ-1 СОНФ-2	ОПП, ДПП
Стеклотекстолит теплостой- кий фольгированный	СТФ-1 СТФ-2	ОПП, ДПП повышенной нагревостойкости
Стеклотекстолит теплостой- кий негорючий фольгирован- ный	СТНФ-1 СТНФ-2	ОПП, ДПП, устойчивые к возгоранию
Диэлектрик фольгированный самозатухающий	ДФС-1 ДФС-2	ОПП, ДПП
Диэлектрик фольгированный общего назначения	ДФО-1 ДФО-2	То же
Стеклотекстолит теплостой- кий для полуаддитивной тех- нологии	СТПА-5-1 СТПА-5-2	ОПП, ДПП, МПП с вы- сокой плотностью про- водящего рисунка
Стеклотекстолит с двусто- ронним адгезивным слоем	СТЭК	ДПП, изготавливаемые по аддитивной технологии, 1-3 классов точности
Лавсан фольгированный	ЛФ-1	Гибкие печатные платы
Полиамид фольгированный	ПФ-1 ПФ-2	То же
Стеклоткань прокладочная	СТП-4 СТП-3	МПП

## Приложение Л - Справочные данные для расчёта надёжности

Таблица ПЛ-1 - Поправочные коэффициенты  $a_1$  для расчёта интенсивностей отказов электро-радиоэлементов по формуле  $\lambda_T = a_1 \cdot \lambda_{JH}$ , в зависимости от температуры  $t$  среды, окружающей элемент, и коэффициента нагрузки  $k_H$  [4, 18]

Наименование, тип элемента	Коэффициент нагрузки $k_H$									
	$t, ^\circ\text{C}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Транзисторы кремниевые	20	0,16	0,18	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63		
	30	0,16	0,19	0,22	0,37	0,46	0,55	0,67		
	40	0,17	0,20	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72		
	50	0,18	0,21	0,24	0,45	0,55	0,65	0,78		
	60	0,19	0,22	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85		
	70	0,20	0,23	0,27	0,56	0,70	0,81	0,97		
Транзисторы германиевые	20	0,23	0,26	0,35	0,42	0,50	0,70	0,74		
	30	0,27	0,32	0,45	0,52	0,65	0,83	0,95		
	40	0,32	0,40	0,53	0,66	0,81	1,04	1,22		
	50	0,42	0,50	0,68	0,84	1,08	1,31	1,50		
	60	0,52	0,63	0,86	1,10	1,38	1,65	1,90		
	70	0,63	0,80	1,11	1,40	1,73	2,05	2,35		
Диоды кремниевые	20	0,77	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88		
	30	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92	0,97		
	40	0,92	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08		
	50	0,98	1,00	1,02	1,05	1,09	1,13	1,19		
	60	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39		
Диоды германиевые	20	0,15	0,22	0,30	0,39	0,50	0,62	0,74		
	30	0,19	0,26	0,35	0,45	0,55	0,66	0,79		
	40	0,23	0,32	0,41	0,51	0,63	0,76	0,91		
	50	0,32	0,45	0,60	0,76	0,95	1,15	1,41		
	60	0,53	0,66	0,86	1,13	1,40	1,75	2,13		
Конденсаторы слюдяные герметичные	20			0,36	0,49	0,18	0,23			
	30			0,38	0,50	0,22	0,27			
	40			0,42	0,54	0,28	0,35			
	50			0,49	0,63	0,36	0,46			
	60			0,61	0,75	0,45	0,62			
	70			0,76	0,96	0,60	0,83			
	80			0,97	1,40	0,92	1,46			
	90			1,30	2,80	1,70	2,40			
	100			1,70	4,50	3,00	3,40			
Конденсаторы слюдяные негерметичные	30			0,08	0,11	0,22	0,27			
	40			0,09	0,13	0,28	0,35			
	50			0,10	0,15	0,36	0,46			
	60			0,12	0,20	0,45	0,62			
	70			0,15	0,26	0,60	0,83			
	80			0,22	0,43	0,92	1,46			
	90			0,38	0,82	1,70	2,40			
	100			0,57	1,36	3,00	3,40			

Наименование, тип элемента	Коэффициент нагрузки $k_H$									
	$t, ^\circ\text{C}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Конденсаторы стеклянные, пленочные, металлобумажные	20			0,36	0,49	0,64	0,80			
	30			0,38	0,50	0,70	0,94			
	40			0,42	0,54	0,80	1,10			
	50			0,49	0,63	0,95	1,43			
	60			0,61	0,75	1,19	2,00			
	70			0,76	0,96	1,58	2,30			
	80			0,97	1,40	2,10	2,80			
	90			1,30	2,80	2,70	3,80			
	100			1,70	4,50	3,50	5,00			
Конденсаторы электролитические с алюминиевым анодом	20			0,48	0,40	0,48	0,82			
	30			0,60	0,48	0,60	1,24			
	40			0,90	0,64	0,90	1,73			
	50			1,40	1,17	1,40	2,30			
	60			2,10	1,80	2,10	4,30			
	70			3,60	2,90	3,60	0,65			
	80			5,60	4,40	5,60	7,00			
	90			8,00	6,50	8,00	11,0			
	100			11,4	9,00	11,4	18,0			
Конденсаторы электролитические с танталовым анодом	20			0,20	0,20	0,20	0,39			
	30			0,22	0,22	0,22	0,41			
	40			0,30	0,30	0,30	0,47			
	50			0,40	0,40	0,40	0,57			
	60			0,50	0,50	0,50	0,70			
	70			0,65	0,65	0,65	0,86			
	80			0,80	0,80	0,80	1,05			
	90			1,00	1,00	1,00	1,30			
	100			1,25	1,25	1,25	1,65			
Резисторы непро- волоочные	20	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	0,84	1,00
	30	0,27	0,34	0,43	0,51	0,62	0,75	0,88	1,07	1,26
	40	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,38	1,71
	50	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38	1,76	2,22
	60	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70	2,17	2,81
	70	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52
	80	0,61	0,71	0,84	1,07	1,46	2,05	2,48	3,31	4,40
	90	0,70	0,79	0,92	1,20	1,66	2,40	2,99	4,04	5,40
	100									
Резисторы проволочные	20	0,02	0,02	0,05	0,10	0,20	0,34	0,51	0,73	1,00
	40	0,06	0,06	0,11	0,19	0,32	0,53	0,69	0,92	1,29
	65	0,11	0,11	0,18	0,32	0,51	0,79	1,04	1,43	2,18
	85	0,16	0,17	0,24	0,43	0,73	1,07	1,50	2,26	3,65
	100	0,18	0,20	0,30	0,52	0,96	1,33	2,00	3,15	5,00
Моточные изделия, трансформаторы, обмотки электри- ческих машин	20		0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	0,60	0,80	1,00
	30		0,10	0,10	0,20	0,30	0,60	1,00	1,40	1,60
	40		0,10	0,20	0,20	0,50	1,20	1,80	2,40	3,00
	50		0,20	0,20	0,30	0,80	1,80	2,80	4,00	5,20
	60		0,20	0,30	0,40	1,20	2,50	4,10	6,40	8,60
	70		0,30	0,40	0,60	2,00	4,20	7,20	10,7	14,0

Таблица ПЛ.2 - Средние, максимальные и минимальные значения интенсивностей отказов электрорадиоэлементов [4, 18]

Наименование элемента	Интенсивность отказов $\lambda$ , (среднее значение) / (максимальное - минимальное), $10^{-6} \text{ ч}^{-1}$
<b>Интегральные микросхемы</b>	
гибридные	0,075 / (0,1—0,05)
полупроводниковые	0,02 / (0,03—0,01)
<b>Транзисторы кремниевые</b>	
маломощные (до 150 мВт)	0,84 / (1,44—0,45)
высокочастотные (менее 1 Вт)	0,50 / (1,67—0,16)
средней мощности (менее 4 Вт)	0,74 / (0,84—0,21)
в ключевом режиме	0,70 / (0,848—0,25)
субминиатюрные двойные	2,6 / (4,31—0,87)
микроволновые	9,66
<b>Диоды</b>	
Кремниевые	0,2 / (0,452—0,021)
Кремниевые карбидные	0,1 / (0,55—0,002)
Субминиатюрные двойные	0,85 / (1,7—0,26)
<b>Конденсаторы</b>	
Керамические	0,15 / (1,64—0,042)
керамические переменные	0,02 / (0,351—0,012)
стеклянные	0,06 / (0,87—0,0005)
танталовые	0,6 / (1,934—0,108)
пластиковые	0,135 / (0,178—0,003)
нейлоновые	0,01 / (0,014—0,006)
электролитические	0,035 / (0,513—0,003)
<b>Резисторы</b>	
композиционные 0,25 Вт	0,016
композиционные 0,5 Вт	0,06
композиционные 2 Вт	0,071
композиционные переменные	0,053 / (0,533—0,007)
металлопленочные	0,2 / (0,4—0,004)
пленочные прецизионные	0,004
потенциометры	0,26 / (0,5—0,02)
проволочные прецизионные	0,073 / (0,114—0,032)
нелинейные	0,11 / (0,153—0,047)
<b>Дроссели</b>	
низкочастотные	0,175
высокочастотные	2,1
катушки индуктивности	0,02 / (1,018—0,001)
<b>Трансформаторы</b>	
Входные	1,09 / (2,08—0,12)
выходные	0,09
высокочастотные	0,045 / (0,062—0,019)
импульсные	0,17 / (0,285—0,03)
питания	0,025 / (0,052—0,012)
разделительные	0,03 / (0,093—0,011)
регулируемые	0,1 / (0,31—0,035)

Продолжение таблицы приложения ПЛ.2.

Наименование элемента	Интенсивность отказов $\lambda$ , (среднее значение) / (максимальное - минимальное), $10^{-6} \text{ ч}^{-1}$
Электродвигатели	
асинхронные	8,6 / (11,2—4,49)
синхронные	0,359 / (6,20—0,159)
постоянного тока	9,36
сельсины	0,35 / (0,61—0,09)
умформеры	3,8 / (8,86—1,15)
Электрорадиоприборы	
тиратроны маломощные	6,0 / (15,0—2,5)
тиратроны мощные	5,0 / (11,3—3,0)
тиратроны субминиатюрные	1,7 / (4,41—0,28)
стабилизатор напряжения (типа СГ2П)	1,0 / (2,5—0,4)
лампы неоновые	0,1 / (1,52—0,019)
лампы накаливания	0,64 / (1,18—0,1)
ЭТЛ с магнитным отклонением	1,65 / (3,1—0,94)
ЭТЛ с электрическим отклонением	1,02 / (2,0—0,96)
Коммутационные элементы и соединители	
переходные колодки	5,2 / (12,3—0,8)
зажимы	0,0005
выключатели магнитные	0,358
выключатели термические	0,3 / (0,5—0,028)
провода соединительные кабели	0,015 / (0,12—0,008)
предохранители плавкие	0,475 / (2,2—0,002)
изоляторы	0,5 / (0,82—0,30)
изолирующие шайбы, прокладки	0,05 / (1,54—0,03)
соединение пайкой	0,001
тумблеры	0,01
выключатели быстродействующие	(0,06/К) / [(1,123/К)—(0,015/К)]*
гнезда	(0,4/К) / [(2,1/К)—(0,09/К)]*
соединители штепсельные	(0,01/Ш) / [0,02/Ш—0,002/Ш]*
соединители с контрольным гнездом	0,062/Ш *
контакторы	0,0004/Ш*
реле малогабаритные	0,25/КГ*
переключатели кнопочные	0,25/КГ*
переключатели блокировочные	0,07/КГ *
переключатели миниатюрные	0,5/КГ*
	0,25/КГ*

*Примечание.* Справочные данные для расчёта надёжности ЭС, приведённые в этой таблице, предназначены для использования в учебном процессе, например, в курсовых и дипломных проектах. В этих случаях в расчётах следует использовать средние значения интенсивностей отказов электрорадиоэлементов. Для ответственных инженерных расчётов надёжности значения интенсивностей отказов электрорадиоэлементов конкретного типа следует брать из специальной справочной литературы.

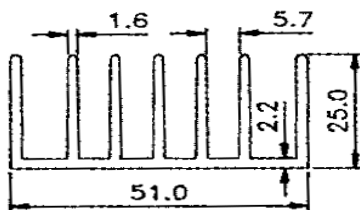
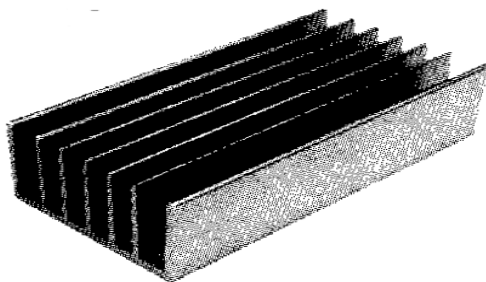
Значения интенсивностей отказа, помеченные значком \* приведены соответственно на один контакт (К), штырёк (Ш), контактную группу (КГ).

Справочные данные для расчёта надёжности электрорадиоэлементов, опубликованные в различных источниках иногда отличаются от приведённых в этом приложении [8, 19]. Эти отличия обусловлены двумя причинами: во-первых, тем, что, из-за высокого уровня надёжно-

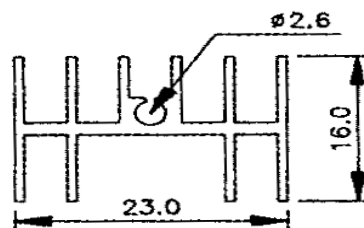
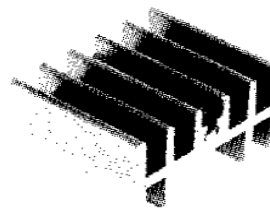
сти электрорадиоэлементов, для определения интенсивностей отказов приходится использовать ускоренные испытания с относительно большой погрешностью определения показателей надёжности, а, во вторых, тем, что при использовании с каждым годом всё более прогрессивных технологий изготовления электрорадиоэлементов интенсивность отказов электрорадиоэлементов уменьшается.

### Приложение М - Конструкции типовых импортных радиаторов

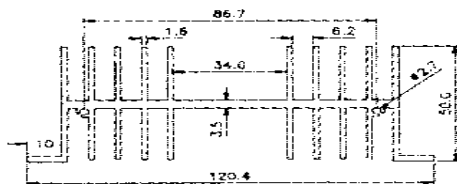
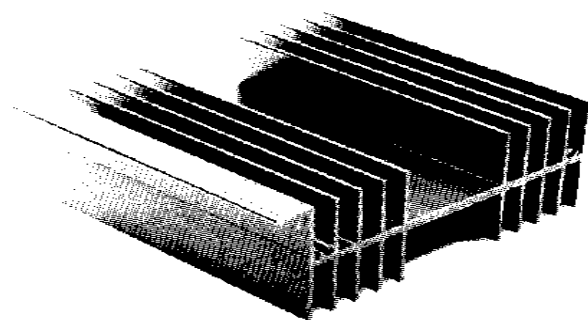
В приложении приведены характеристики радиаторов для полупроводниковых приборов, поставляемых торговой фирмой *Платан*, при отсутствии обдува [37]. Пример обозначения *HS201-30*: *HS201*- серия; 30- длина в мм.  $R_{p-o.c.}$ -тепловое сопротивление радиатор - окружающая среда,  $v$ -скорость обдува [14].



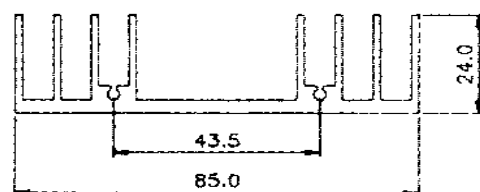
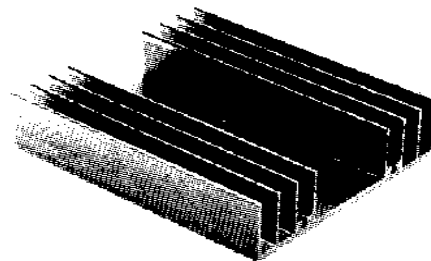
а) Тип *HS185*:  $R_{p-o.c.} = 6,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  
удельная масса  $m/l = 1,13 \text{ кг/м}$ .



б) Тип *HS201*:  $R_{p-o.c.} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  
удельная масса  $m/l = 0,31 \text{ кг/м}$ .



в) Тип *HS114*:  $R_{p-o.c.} = 1,9 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  
удельная масса  $m/l = 3,3 \text{ кг/м}$ .



г) Тип *HS115*:  $R_{p-o.c.} = 4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  
удельная масса  $m/l = 2,51 \text{ кг/м}$ .

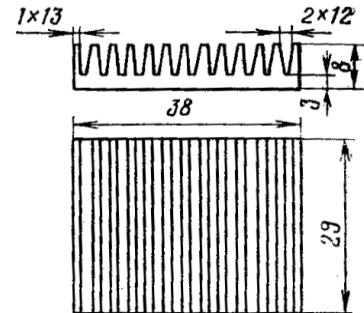
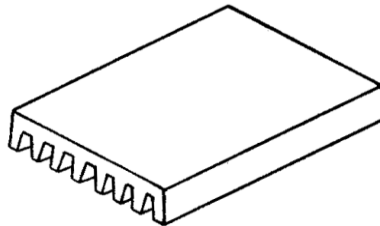
Приложение Н - Типовые конструкции радиаторов для ЭРЭ отечественной разработки и их характеристики

**a)**  $R_{p.-o.c.} \quad v=0 \text{ м/с} = 7 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=1,5 \text{ м/с} = 3,5 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=3 \text{ м/с} = 2,6$

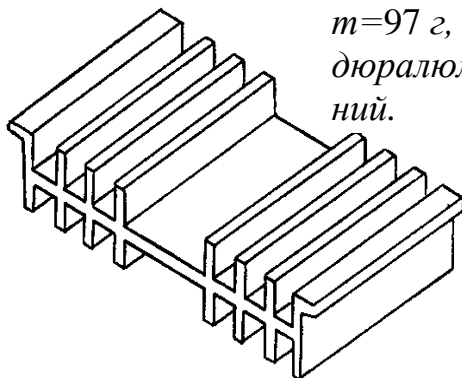
Масса  $m=18 \text{ г},$   
дюралюминий.



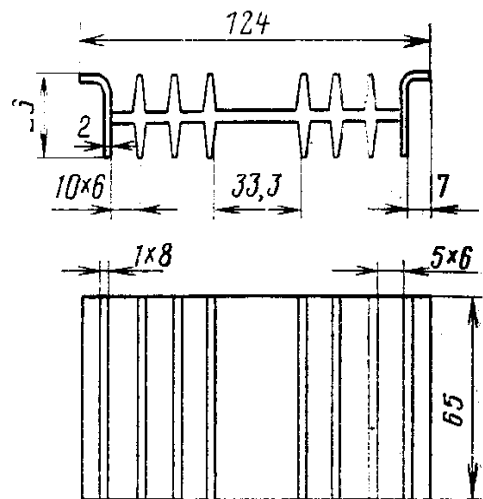
**б)**  $R_{p.-o.c.} \quad v=0 \text{ м/с} = 2,7 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=1,5 \text{ м/с} = 0,9 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=3 \text{ м/с} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$



$m=97 \text{ г},$   
дюралюминий.

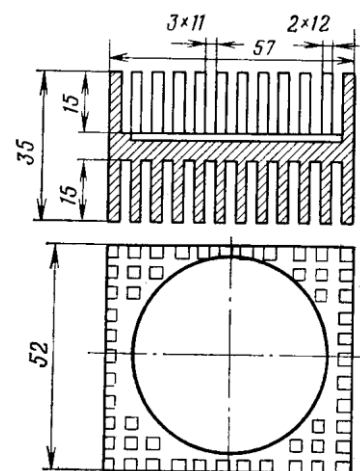
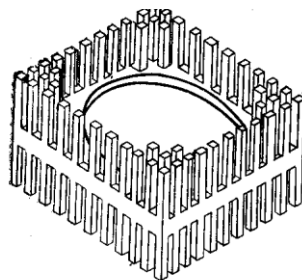


**в)**  $R_{p.-o.c.} \quad v=0 \text{ м/с} = 3,7 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=1,5 \text{ м/с} = 1,1 \text{ }^\circ\text{C/Вт};$

$R_{p.-o.c.} \quad v=3 \text{ м/с} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$

$m=65 \text{ г},$   
дюралюминий.



Приложение О. Пример оформления перечня элементов для схем электрических принципиальных

Поз. обозн	Наименование	Кол.	Примечание

	<u>Конденсаторы</u>		
C1, C2	K50-6-I-25-5 мкФ-НП ОЖО.464.031 ТУ	2	
C3, C4	K50-6-II-25-100 мкФ-НП ОЖО.464.031 ТУ	2	
C5, C6	КД-2Е-ПЗЗ-22 ±10% ОЖО.460.050 ТУ	2	
	<u>Резисторы C1-4 АПШК.434110. 001 ТУ</u>		
	<u>Резисторы C2-6 ОЖО.467032 ТУ</u>		
R1...R3	C1-4-0.125-510 Ом ± 5%	3	
R4, R5	C1-4-0.125-510 Ом ± 5%	2	
R6	C1-4-0.125-510 Ом ± 5%	1	
R7	C2-6-0.125-33 кОм ±10%	1	
R8, R9	C2-6-0.125-430 кОм ±10%	2	
	<u>Приборы полупроводниковые</u>		
V1, V2	Транзистор КПЗ12А аА0.336.167 ТУ	2	
V3, V4	Транзистор КПЗ06А ТФ0.336.002 ТУ	2	

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

					РКФЗ. 468714.001 ПЭЗ		
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	Лит	Лист	Листов
Разработал	Петров			15.03.97	П		1
Проверил	Козлов			15.03.97			
Н. Контр.							
Утвердил							
Предусилитель Перечень элементов					ТУСУР каф. КИПР	РКФ гр. 234-1	



Приложение П. Пример оформления спецификации сборочного чертежа

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A4			РКФ3.468795.001 СБ	Сборочный чертеж		
A4			РКФ3.468795.001 ЭЗ	Схема электрическая		
				принципиальная		
A4			РКФ3.468795.001 ПЭЗ	Перечень элементов		
A4			РКФ3.468795.001 ПЗ	Пояснительная записка		
				<u>Сборочные единицы</u>		
A4		4	РКФ3.46xxx..001 СБ	Катушки индуктивности		
				45 мкГн	2	L1, L3
		5	РКФ3.46xxx..001 СБ	Катушка индуктивности		
				0.3 мГн	1	L2
				<u>Детали</u>		
		1	РКФ3.758724.001	Плата		
				<u>Прочие изделия</u>		
				Конденсаторы		
		2		КТ-1Е-МПО-200-0.6 ± 5%	2	C1, C3
				ОЖО.460.030 ТУ		
		3		КТ-1Е-МПО-200-1.01 ± 5%	1	C2
				ОЖО.460.030 ТУ		



Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	РКФ3. 468714.001		
Разработал	Петров			15.03.97	Лит	Лист	Листов
Проверил	Козлов			15.03.97	П		1
Н. Контр.					ТУСУР РКФ		
Утвердил					каф. КИПР гр. 234-1		
Предусилитель							
Спецификация							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Цели и задачи курсового проекта	4
2 Комплектность курсового проекта	3
3 Задание на курсовое проектирование	8
4 Указания по составлению и оформлению пояснительной записки	11
5 Анализ требований технического задания курсового проекта	15
6 Общие требования к выполнению электрических схем	28
7 Общие требования к выполнению сборочных чертежей и деталей	45
8 Конструктивная база электронных средств и её использование в процессе проектирования	54
9 Расчет массогабаритных показателей конструкции	93
10 Расчет собственной частоты печатного узла	95
11 Определение показателей технологичности конструкций	96
12 Выбор способа охлаждения конструкции ЭС и оценка теплового режима	
13 Оценка показателей надёжности конструкции по внезапным отказам	108
Литература	113
Приложения	116